



Universidad
Politécnica
de Cartagena



industriales
etsii UPCT

**Diseño del montacargas de un pequeño almacén con
capacidad para salvar un piso de altura y con una
carga máxima de 3000 Kg.**

Titulación: Ingeniería Técnica Industrial
Intensificación: Mecánica
Alumno: Germán Roca Belmonte
Director: D. Miguel Lucas Rodríguez

Cartagena, 22 de octubre de 2012



Diseño del montacargas de un pequeño almacén con capacidad para salvar un piso de altura y con una carga máxima de 3000 Kg.
Documento Nº 1 Memoria.

Germán Roca Belmonte.
22/10/2012

Nº Revisión: 1

ÍNDICE MEMORIA:

- **MEMORIA DESCRIPTIVA.**

- **CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.**
 - ANEJO A.
 - ANEJO B.
 - ANEJO C.



ÍNDICE:

MEMORIA DESCRIPTIVA.....	1
1. ANTECEDENTES.....	1
2. OBJETO.	1
3. REGLAMENTACIÓN:	1
4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS INSTALACIONES.....	3
5. EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.....	7
6. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.	8
6.1. OBJETO.	8
6.2. UNIDADES CONSTRUCTIVAS QUE COMPONEN LA OBRA.....	8
6.3. TRABAJOS PREVIOS A LA REALIZACION DE LA OBRA.....	8
6.4. RELACIÓN DE RIESGOS LABORALES.	9
6.5. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIONES.....	10
6.6. DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y DE SALUD QUE DEBERÁN APLICARSE EN LAS OBRAS CON CARÁCTER GENERAL.....	12
7. MEMORIA MEDIOAMBIENTAL.	18
7.1. FASE DE CONSTRUCCIÓN.....	18
7.2. FASE DE UTILIZACIÓN.....	18
7.3. FASE DE DESGUACE (FIN DEL CICLO DE VIDA).....	19
8. MANTENIMIENTO Y COMPROBACIONES.....	20
8.1. COMPROBACIONES ANTES DE LA PRIMERA UTILIZACIÓN.	20
8.2. MANTENIMIENTO Y COMPROBACIONES DIARIAS.....	20
8.2. MANTENIMIENTO Y COMPROBACIONES SEMANALES.	21
8.2. MANTENIMIENTO Y COMPROBACIONES MENSUALES.	21
8.3. MANTENIMIENTO Y COMPROBACIONES ANUALES.....	21
9. PRESUPUESTO.	22
RESUMEN DEL PRESUPUESTO GENERAL POR CAPÍTULO.....	22
10. AGRADECIMIENTOS.....	23
11. DOCUMENTOS DE QUE CONSTA ESTE PROYECTO.....	23
12. CONCLUSIÓN.....	24



MEMORIA DESCRIPTIVA.

1. ANTECEDENTES.

A petición del departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Cartagena, para la realización del Proyecto Fin de Carrera dirigido a la obtención del título de Ingeniero Técnico Industrial, se realizará el presente proyecto, dirigido por el profesor del departamento, Don Miguel Lucas Rodríguez.

2. OBJETO.

El objeto del presente proyecto es el cálculo y diseño de un montacargas para uso exclusivo de mercancías de un pequeño almacén con capacidad para salvar un piso de altura y con una carga máxima de 3000 kg.. Para ello se monta una estructura portante de 6,3 metros de altura que se ancla al suelo del almacén y al entrepiso. Esta estructura incorpora solidaria a el unas guías de perfil T, en las cuales ruedan unos carros rodadera que se encuentran en la plataforma del elevador. Esta plataforma es impulsada hacia arriba por un cilindro hidráulico, el cual se encuentra parcialmente enterrado en el foso del montacargas. El montacargas se encuentra cercado por un cerramiento para mantener la seguridad en las partes aledañas al conjunto elevador.

3. REGLAMENTACIÓN:

Para la realización de este proyecto se han tenido en cuenta los siguientes reglamentos y normativas:

-CTE. DB-SE. SEGURIDAD ESTRUCTURAL

- REAL DECRETO 314/2006, de 17-MAR del Ministerio de Vivienda.
- B.O.E.: 28-MAR-2006.



- REGLAMENTO DE APARATOS DE ELEVACIÓN Y SU MANUTENCIÓN.
- EN 81-31: *Reglas de seguridad para la fabricación e instalación de montacargas. Montacargas únicamente para el transporte de mercancías.*
- EN 81-2:1998 *Reglas de seguridad para la fabricación e instalación de montacargas. Parte 2: Montacargas hidráulicos.*
- UNE-EN 81-2 *Normas de seguridad para la construcción e instalación de los ascensores.*

- REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO PARA BAJA TENSIÓN. "REBT"
 - REAL DECRETO 842/2002, de 2-AGO, del Ministerio de Ciencia y Tecnología.
 - B.O.E.: 18-SEP-2002.

- PROTECTORES DE MATERIAL PLÁSTICO.
 - RESOLUCIÓN de 18-ENE-88, de la Dirección General de Innovación Industrial.
 - B.O.E.: 19-FEB-8.

- LEY DE MEDIOAMBIENTE DE LA REGIÓN DE MURCIA.

- LEY DE RIESGOS LABORALES.

- LEY DE SALUD LABORAL.

- REGLAMENTO DE ACTIVIDADES MOLESTAS, INSALUBRE, NOCIVAS Y PELIGROSAS. "RAMINP"

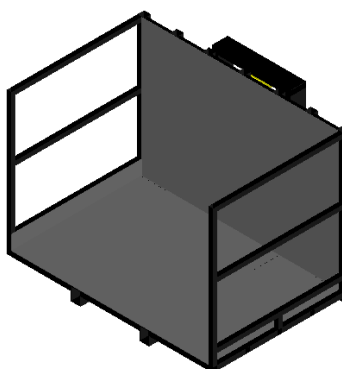


4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS INSTALACIONES.

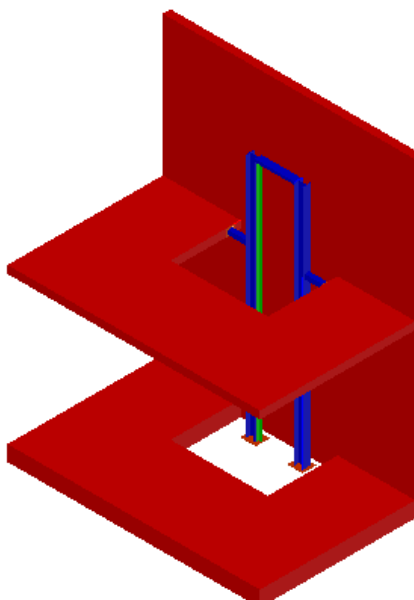
ELEMENTOS DEL MONTACARGAS.

El montacargas se puede dividir básicamente en cuatro partes:

- Plataforma elevadora: En ella es donde se introduce la mercancía a transportar.

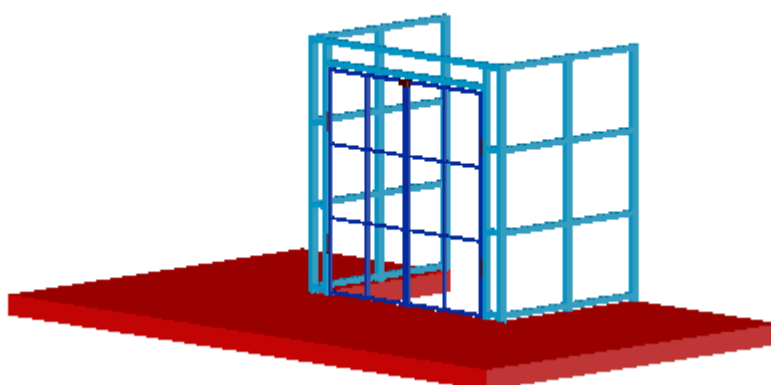


- Estructura portante: A ella van unidas las guías de perfil T para el deslizamiento de la plataforma de un nivel a otro. Esta estructura aguanta todo el peso del montacargas, en el que entra el propio peso de todo el conjunto elevador más la carga nominal de 3000 kg.

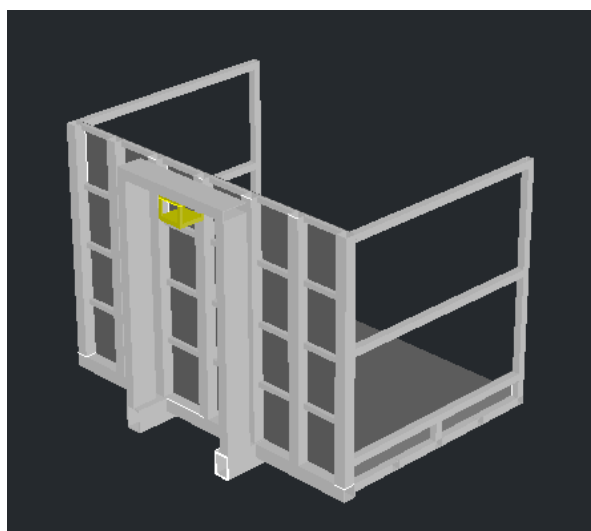




- Cerramiento exterior: Al ser un aparato que por su funcionamiento puede entrañar un peligro para la seguridad de las personas, el acceso a la plataforma elevadora está limitado por una estructura metálica recubierta por malla electrosoldada, en la que se tiene una puerta de doble hoja con enclavamiento mecánico, para evitar que pueda ser abierta durante el funcionamiento del montacargas:



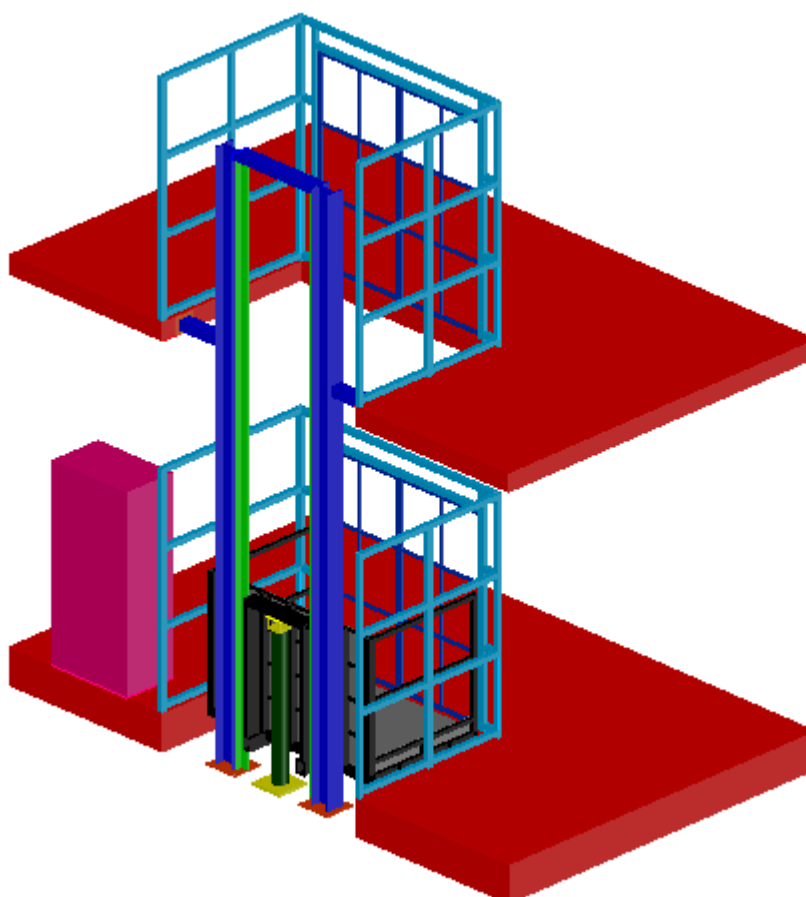
- Grupo impulsor: La plataforma elevadora es impulsada por un pistón hidráulico que se une a la misma a través de una placa pivotante enganchada en la parte posterior. (placa amarilla en la figura).





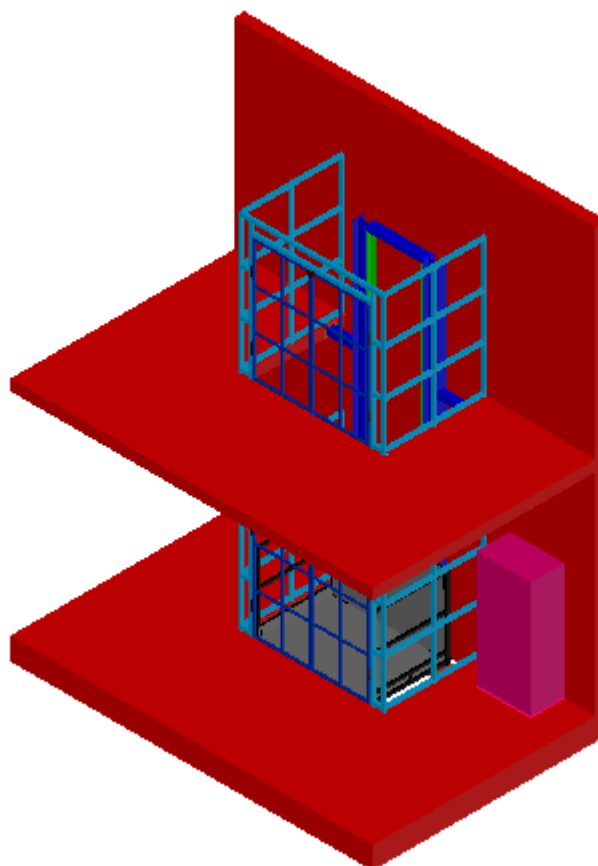
El pistón impulsor es de simple efecto, cuyo recorrido de vástago es de 4300 mm (300 mm más que la distancia a salvar entre plantas por motivos técnicos detallados en los cálculos justificativos).

El montacargas consta de una central hidráulica completa, en el lateral del recinto destinado a tal uso, y en ella se haya la bomba, el motor y el depósito del aceite que hacen que la plataforma pueda ascender bombeando el aceite hacia el pistón a través de una tubería.





En la siguiente imagen puede verse la vista del conjunto del montacargas situado en el hueco de 2500 x 1800 del almacén,



Este sistema de elevación (por tracción hidráulica directa) ha sido escogido por permitir un mayor aprovechamiento del hueco disponible, disponiendo de una superficie de carga de 2000 x 1400.

Además permite una reducción considerable de consumo energético, ya que a la hora de mover la plataforma solo hay que hacer funcionar la bomba para el movimiento ascendente, debido a que para el descendente se abre la válvula que lleva incorporada el pistón y hace salir el aceite por el propio peso de la plataforma, aunque esta vaya vacía.

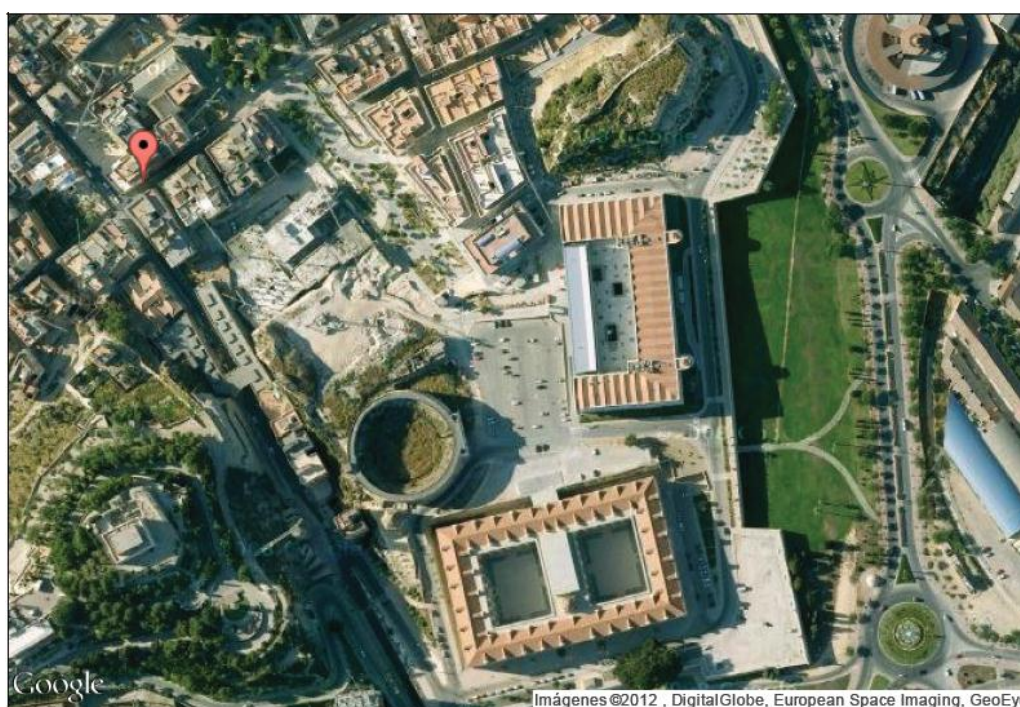
Por último, expresar que además del ahorro energético, se gana en seguridad ya que este sistema incorpora una válvula paracaídas para prevenir posibles roturas de la conducción hidráulica, y al ir cogido el pistón directamente a la plataforma se reduce la probabilidad de que la plataforma caiga sin control por fallo de otros componentes, como es el caso de la tracción de cables o cadenas.



Con este diseño se tiene que no se precisa de cuarto de máquinas para la colocación de la máquina motriz, permitiendo que el espacio de trabajo en el almacén no se reduzca por instalar una plataforma elevadora.

5. EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.

El montacargas ha sido encargado para ser instalado en CONSUM, una pequeña tienda de abastecimientos comestibles en el casco antiguo de la ciudad de Cartagena, a 5 minutos andando del Campus Universitario Muralla del Mar.



La dirección de la tienda es Calle Duque N°28, Cartagena. En la imagen de arriba puede verse marcado con un ícono rojo el emplazamiento de la tienda.



6. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.

6.1. OBJETO.

Se redacta el presente estudio básico de seguridad y salud para las obras motivo del presente proyecto en cumplimiento del Real Decreto 1627/ 1997 del 24 de octubre por el que se establecen las disposiciones mínimas que se deberán seguir en la construcción con respecto a la protección de la integridad física de los trabajadores.

Este apartado tiene por objeto precisar las normas de seguridad y salud aplicables a la instalación del montacargas.

En aplicación de lo referido en este estudio, el contratista elaborará un plan de actuación en el trabajo, en el que se analicen, desarrollen y completen las previsiones contenidas en el estudio, en función del propio sistema de ejecución de la obra.

Dicho plan, deberá ser aprobado antes del inicio de la obra por el coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra.

6.2. UNIDADES CONSTRUCTIVAS QUE COMPONEN LA OBRA.

- Estructuras (plataforma y estructura portante).
- Cerramiento.
- Instalaciones.

6.3. TRABAJOS PREVIOS A LA REALIZACION DE LA OBRA.

Deberá realizarse el vallado del perímetro de la zona de trabajo.

El vallado tendrá 2 metros de altura y tendrá una puerta de acceso del personal.

Deberán colocarse en lugar adecuado y con la suficiente visibilidad las siguientes señalizaciones:



- Obligatoriedad del uso del casco en el recinto de la obra.
- Prohibida la entrada a toda persona ajena a la obra.
- Cartel de obra.

6.4. RELACIÓN DE RIESGOS LABORALES.

- Caída de personas al mismo nivel.
- Caída de personas a distinto nivel.
- Golpes por objetos o herramientas.
- Pisada sobre objetos.
- Lesiones por heridas punzantes en manos y pies.
- Caída de material de la grúa.
- Electrocuciones.
- Caída de objetos al vacío.
- Cortes al utilizar sierras de mano.
- Electrocución por anulación de las tomas de tierra en maquinaria eléctrica.
- Sobresfuerzos.
- Golpes o cortes por manejo de materiales.
- Quemaduras.
- Atrapamientos por los medios de elevación y transporte.
- Salpicaduras de partículas a los ojos.
- Agrupamientos entre piezas pesadas.
- Explosión del soplete o de la bomba de gas.
- Pisadas sobre material punzante.



6.5. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIONES.

6.5.1 Protecciones individuales.

- Cascos para todas las personas que participan en la obra, incluidos visitantes.
- Pantalla protección soldador eléctrico.
- Gafas contra impactos y anti polvo.
- Mascarillas anti polvo auto filtrantes.
- Cinturones de seguridad cuya clase se adaptara a los riesgos especificados de cada trabajo.
- Monos de trabajo o cazadora-pantalón, teniéndose en cuenta las reposiciones a lo largo de la obra, según el Convenio Colectivo Provincial.
- Equipo completo de soldador.
- Guantes de uso general para manejo de materiales.
- Guantes dieléctricos para su utilización en baja tensión.
- Herramientas dieléctricas.
- Botas de seguridad.

6.5.2. Protecciones colectivas.

- Limpieza del recinto de trabajo.
- No situar materiales en el borde planos superiores.
- Vallas: se utilizaran vallas de contención en bordes de vaciado.
- Señalización: se utilizara cinta de balizamiento y señales indicativas de riesgo de caída al mismo nivel.
- Redes verticales en bordes de forjado.



- Redes horizontales en bordes de forjado y patio.
- Mallado resistente en huecos horizontales.
- Barandillas rígidas en bordes de forjado y escaleras.
- Red tipo tenis.
- Cable tensado entre pilares en borde de forjado.
- Marquesina de acceso a obra.
- Cable o cuerda auxiliar para amarre de cinturón.
- Portalámparas estancos con mango aislante y rejilla de protección.
- Todos los cables van provistos de las respectivas clavijas macho-hembra.
- Válvulas anti retroceso en mangueras.

En el momento de ingreso en la obra, todo el personal recibirá instrucciones adecuadas sobre el trabajo a realizar y los riesgos que pudiera entrañar, así como las normas de comportamiento que deban cumplir (cartilla de seguridad).

Deberán impartirse cursillos de socorrismo y primeros auxilios a las personas más calificadas, de manera que en todo momento haya en todos los trabajos algún socorrista.

Antes del comienzo de nuevos trabajos específicos se instruirá a las personas que en ellos intervengan sobre los riesgos con los que se van a encontrar y modo de evitarlos.



6.6. DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y DE SALUD QUE DEBERÁN APLICARSE EN LAS OBRAS CON CARÁCTER GENERAL.

6.6.1 Disposiciones relativas a los lugares de trabajo en las obras.

Las presentes disposiciones mínimas serán de aplicación a la totalidad de la obra, incluidos los puestos de trabajo en las obras en el interior y en el exterior de los locales.

INSTALACIONES DE SUMINISTRO Y REPARTO DE ENERGIA.

a) La instalación eléctrica de los lugares de trabajo en las obras deberá ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica.

b) Las instalaciones deberán proyectarse, realizarse y utilizarse de manera que no entrañen peligro de incendio ni de explosión y de modo que las personas estén debidamente protegidas contra los riesgos de electrocución por contacto directo o indirecto.

c) El proyecto, la realización y la elección del material y de los dispositivos de protección deberán tener en cuenta el tipo y la potencia de la energía suministrada, las condiciones de los factores externos y la competencia de las personas que tengan acceso a partes de la instalación.

VIAS Y SALIDAS DE EMERGENCIA.

a) Las vías y salidas de emergencia deberán permanecer expedidas y desembocar lo más directamente posible en una zona de seguridad.

b) En caso de peligro, todos los lugares de trabajo deberán poder evacuarse rápidamente y en condiciones de máxima seguridad para los trabajadores.



c) El número, la distribución y las dimensiones de las vías y salidas de emergencia dependerán del uso, de los equipos y de las dimensiones de la obra y de los locales, así como el número máximo de personas que puedan estar presentes en ellos.

d) Las vías y salidas de emergencia, así como las vías de circulación y las puertas que den acceso a ellas, no deberán estar obstruidas por ningún tipo de objeto, de modo que puedan utilizarse sin trabas en cualquier momento.

e) En caso de avería del sistema de alumbrado, las vías y salidas de emergencia que requieran iluminación de seguridad de suficiente intensidad .

DETECCION Y LUCHA CONTRA INCENDIOS.

a) Todos los dispositivos de lucha contra incendios y sistemas de alarma deberán verificarse y mantenerse con regularidad. Deberán realizarse a intervalos regulares, pruebas y ejercicios adecuados.

b) Los dispositivos no automáticos de lucha contra incendios deberán ser de fácil acceso y manipulación.

Deberán estar señalizados conforme a la actual normativa. Dicha señalización deberá fijarse en los lugares adecuados y tener la resistencia suficiente.

VENTILACIÓN.

a) Teniendo en cuenta los métodos de trabajo y las cargas físicas impuestas a los trabajadores, estos deberán disponer de aire limpio en cantidad suficiente.



b) En caso de que se utilice una instalación deberá mantenerse en buen estado de funcionamiento y los trabajadores no deberán estar expuestos a corrientes de aire que perjudiquen su salud. Siempre que sea necesario para la salud de los trabajadores, deberá haber un sistema de control que indique cualquier avería.

EXPOSICIÓN A RIESGOS PARTICULARES.

a) Los trabajadores no deberán estar expuestos a niveles sonoros nocivos ni a factores externos nocivos (por ejemplo, gases, vapores, polvo).

b) En ningún caso podrá exponerse a un trabajador a una atmósfera confinada de alto riesgo. Deberá, al menos, quedar bajo vigilancia permanente desde el exterior y deberán tomarse todas las debidas precauciones para que se le pueda prestar auxilio eficaz e inmediato.

TEMPERATURA.

La temperatura debe ser la adecuada para el organismo humano durante el tiempo de trabajo, cuando las circunstancias lo permitan, teniendo en cuenta los métodos de trabajo que se apliquen y las cargas físicas impuestas a los trabajadores.

ILUMINACIÓN.

a) En los lugares de trabajo, los locales y las vías de circulación en la obra deberán disponer en la medida de lo posible de suficiente luz natural y tener una iluminación artificial adecuada y suficiente durante la noche y cuando no sea suficiente la luz natural.



b) Las instalaciones de iluminación de los locales, de los puestos de trabajo y de las vías de circulación deberán estar colocadas de tal manera que el tipo de iluminación previsto no suponga riesgo de accidente para los trabajadores.

c) Los locales, los lugares de trabajo y las vías de circulación en los que los trabajadores estén particularmente expuestos a riesgos en caso de avería de la iluminación artificial deberán poseer una iluminación de seguridad de intensidad suficiente.

PUERTAS Y PORTONES.

a) Las puertas correderas deberán ir provistas de un sistema de seguridad que les impida salirse de los raíles y caerse.

b) Las puertas y portones que se abran hacia arriba deberán ir provistos de un sistema de seguridad que les impida volver a bajarse.

c) Las puertas y portones situados en el recorrido de las vías de emergencia deberán estar señalizados de manera adecuada.

VIAS DE CIRCULACION Y ZONAS PELIGROSAS.

a) Las vías de circulación, incluidas las escaleras, las escalas fijas y los muelles y rampas de carga deberán estar calculados, acondicionados y preparados para su uso de manera que se puedan utilizar fácilmente, con toda seguridad y conforme al uso al que se les haya destinado y de forma que los trabajadores empleados en las proximidades de estas vías de circulación no corran riesgo alguno.

b) Las dimensiones de las vías destinadas a la circulación de personas o de mercancías, incluidas aquellas en las que se realicen operaciones de carga y descarga, se calcularán de acuerdo con el número de personas que puedan utilizarlas y con el tipo de actividad.



Cuando se utilicen medios de transportes en las vías de circulación, se deberá prever una distancia de seguridad suficiente o medios de protección adecuados para las demás personas que puedan estar presentes en el círculo.

Se señalizarán claramente las vías y se procederá regularmente a su control y mantenimiento.

c) Las vías de circulación destinadas a los vehículos deberán estar situadas a una distancia suficiente de las puertas , portones ,pasos para peatones , corredores y escaleras.

d) Si en la obra hubiera zonas de acceso limitado, dichas zonas deberán estar equipadas con dispositivos que eviten que los trabajadores no autorizados puedan penetrar en ellas. Se deberán tomar todas las medidas adecuadas para proteger a los trabajadores que estén autorizados a penetrar en las zonas de peligro. Estas zonas deberán estar señalizadas de modo claramente visible.

ESPACIO DE TRABAJO

Las dimensiones del puesto de trabajo deberán calcularse de tal manera que los trabajadores dispongan de la suficiente libertad de movimientos para sus actividades, teniendo en cuenta la presencia de todo el equipo y material necesario.

PRIMEROS AUXILIOS.

a) Será responsabilidad de la propiedad garantizar que los primeros auxilios puedan prestarse en todo momento por personal con la suficiente formación para ello. Así mismo, deberán adoptarse medidas para garantizar la evacuación, a fin de recibir cuidados médicos, de los trabajadores accidentados o afectados por una indisposición repentina.



SERVICIOS HIGIÉNICOS.

Cuando los trabajadores tengan que llevar ropa especial de trabajo deberán tener a su disposición vestuarios adecuados.

Los vestuarios deberán de ser de fácil acceso, tener las dimensiones suficientes y disponer de asientos e instalaciones que permitan a cada trabajador poner a secar, si así fuera necesario, su ropa de trabajo.

Cuando los vestuarios no sean necesarios, en el sentido del párrafo primero de este apartado, cada trabajador deberá de disponer de un espacio para colocar su ropa y sus objetos personales bajo llave.

TRABAJADORES MINUSVÁLIDOS.

Los lugares de trabajo deberán de estar acondicionados teniendo en cuenta, en su caso, a los trabajadores minusválidos.

Esta disposición se aplicará, en particular, a las puertas, vías de circulación, escaleras, duchas, lavabos, retretes y lugares de trabajo utilizados u ocupados directamente por trabajadores minusválidos.

DISPOSICIONES VARIAS.

a) Los accesos y el perímetro de la obra deberán señalizarse y detectarse de manera que sean claramente visibles e identificables.

b) En la obra, los trabajadores deberán disponer de agua potable y, en su caso, de otra bebida apropiada no alcohólica en cantidad suficiente, tanto en los locales que ocupen como cerca los puestos de trabajos.

c) Los trabajadores, deberán disponer de instalaciones para poder comer y, en su caso, para preparar sus comidas en condiciones de seguridad y salud.



7. MEMORIA MEDIOAMBIENTAL.

Este proyecto es respetuoso con el medio ambiente tal como se puede detallar a continuación, ya que la mayoría de los componentes de los que consta el montacargas están fabricados en acero además de no necesitar excesiva lubricación sus componentes, entre otras cosas. Por otro lado, se tendrán en cuenta una serie de pautas respecto al impacto ambiental del proyecto.

7.1. FASE DE CONSTRUCCIÓN.

Tal y como se ha comentado, el montacargas y sus componentes se componen mayoritariamente de acero, material de bajo coste energético en cuanto a su obtención y de fácil reciclaje. Según se ha visto en los *ANEJOS A, B y C*, el material utilizado para la fabricación es S275 y S355 en su inmensa mayoría, que son materiales de fácil reciclaje y de fácil reutilización, y casi todos los componentes son de acero.

Durante la construcción, se generan desechos provenientes del mecanizado de las piezas, de los tratamientos térmicos y del pintado.

Los desechos de mecanizado pueden reciclarse como chatarra o bien eliminarse por los cauces normales (nunca echar polvo metálico por el desagüe).

Los desechos de los tratamientos térmicos y del pintado deben ser tratados antes de ser evacuados, o bien se puede subcontratar a una empresa especializada.

7.2. FASE DE UTILIZACIÓN.

Durante su uso, la única fuente de energía es la electricidad proveniente de la red. Por lo tanto, corresponde a las empresas generadoras y distribuidoras de electricidad el control ambiental de sus respectivos procesos.



El aceite del equipo hidráulico debe ser tratado por una empresa especializada (nunca se debe verter por el desagüe). El aceite de máquinas está considerado como un residuo peligroso por la legislación española (BOE n. 43 de 19/2/2002, *Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos* y BOE n. 96 de 22/4/1998, *Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos*).

7.3. FASE DE DESGUACE (FIN DEL CICLO DE VIDA).

Al final de la vida útil del montacargas, los elementos metálicos pueden ser reciclados como chatarra; el aceite y las grasas deben ser tratados por empresas especializadas (mismas consideraciones que en el apartado 7.2); las piezas de material sintético (ruedas rodaderas) deben reciclarse y las piezas eléctricas (cables, cuadro eléctrico, contactos de seguridad) deben reciclarse como piezas especiales.



8. MANTENIMIENTO Y COMPROBACIONES.

En este apartado se detallan las acciones que han de realizarse por el personal de mantenimiento para el correcto funcionamiento del montacargas y así incidir de una manera directa en el aumento de la vida útil de este.

Se deben realizar cuatro tipos de acciones, dependiendo de su periodicidad: diaria, semanal, mensual y anual. Además, antes de la primera utilización, deben hacerse también una serie de comprobaciones (UNE-EN 81-31=2011, *Anexos informativos D y E de la propia norma*).

8.1. COMPROBACIONES ANTES DE LA PRIMERA UTILIZACIÓN.

Antes de la primera utilización, el fabricante debe comprobar el funcionamiento correcto de todos los conmutadores (topes de pisos, topes final de recorrido e interruptores de seguridad de todas las puertas), de todos los controles, de la válvula paracaídas, las cerraduras de las puertas y la distancia de frenada.

Además el fabricante debe proceder al llenado del depósito del aceite de la central hidráulica. El aceite a usar viene especificado en el *Anexo B* de este proyecto junto con el volumen necesario de aceite a introducir.

Por su parte, el usuario final deberá realizar un viaje completo introduciendo mercancía antes de su primera utilización, para comprobar que el recorrido se puede realizar sin inconvenientes.

8.2. MANTENIMIENTO Y COMPROBACIONES DIARIAS.

- Limpieza general.
- Mantener limpia y libre la zona alrededor del montacargas (y por supuesto la zona bajo el montacargas).



- Comprobar que el espacio que utiliza el montacargas se encuentre libre (realizar una subida y bajada completa con el montacargas vacío y comprobar el funcionamiento de los topes final de recorrido superior e inferior, que el movimiento no es posible con puertas abiertas y que el botón rojo de emergencia del mando de control impide cualquier movimiento).

8.2. MANTENIMIENTO Y COMPROBACIONES SEMANALES.

- Comprobar el juego en la unión atornillada entre la cabeza del vástago del pistón y la placa oscilante (no deben presentar desgastes).
- Controlar que no existan daños en el cable de alimentación, en los cables de las puertas ni en el mando de control.

8.2. MANTENIMIENTO Y COMPROBACIONES MENSUALES.

- Comprobar la fijación de los tornillos de conexión entre tramos de guías, en los carros rodaderas, de los topes de final de recorrido inferior y superior, de los topes de piso y de las sujeciones de los anclajes.
- Comprobar la fijación de los tornillos del pistón hidráulico.
- Comprobar el nivel de aceite del depósito en caso de percibirse pérdidas.
- Engrasar las bisagras de todas las puertas.

8.3. MANTENIMIENTO Y COMPROBACIONES ANUALES.

Comprobar el nivel de aceite y añadir si es necesario.



9. PRESUPUESTO.

RESUMEN DEL PRESUPUESTO GENERAL POR CAPÍTULOOS.

	COSTE TOTAL (€)
PRECIO DE MATERIALES A FABRICAR.	4.149,54
PRECIO DE COMPONENTES HIDRÁULICOS.	8.906,08
PRECIO DE COMPONENTES ELÉCTRICOS.	289,24
PRECIO DE PUERTAS Y CERRAMIENTO.	355,53
PRECIO DE COMPONENTES DE GUIADO.	1.792,03
COSTE DE FABRICACIÓN Y MONTAJE.	3.800,00

TOTAL	19.292,42
-------	-----------

Asciende el presupuesto general de ejecución material del presente proyecto a la cantidad de *diecinueve mil doscientos noventa y dos euros y cuarenta y dos céntimos (19.292,42 €)*.

El presupuesto de ejecución por contrata se obtiene añadiendo un 6% de beneficio industrial:

- Presupuesto de ejecución material 19.292,42 €.
- 6% de beneficio industrial 1.157,55 €.

20.449,97 €.

Por tanto, asciende el presupuesto general de ejecución por contrata a la cantidad de *veinte mil cuatrocientos cuarenta y nueve euros y noventa y siete céntimos (20.449,97 €)*.



10. AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo está dedicado en primer lugar a DIOS, en segundo a mis PADRES (*Visitación y Francisco*), HERMANA (*Visitación*) y FAMILIARES CERCANOS que nunca dudaron en brindarme su apoyo cuando los necesité, y por último a todos mis compañeros de piso (*Jose Antonio, Jose Francisco y Andrea*) que estuvieron ahí para brindarme palabras de aliento, una sonrisa y para jugarme una broma en el momento indicado.

11. DOCUMENTOS DE QUE CONSTA ESTE PROYECTO.

El presente proyecto, consta de los siguientes documentos:

Documento N°1 Memoria:

- Memoria Descriptiva.
- Cálculos Justificativos:
 - Anejo A.
 - Anejo B.
 - Anejo C.

Documento N°2 Planos.

Consta de 18 planos, en los cuales se hayan de fabricación, montaje y situación.

Documento N°3 Pliego de condiciones.

Documento N°4 Presupuesto.



12. CONCLUSIÓN.

Estimando que para la redacción del proyecto se han tenido en cuenta las prescripciones de la legislación vigente y que de acuerdo con ellas se han cubierto las condiciones impuestas por la especificación entregada por el Departamento de Ingeniería Mecánica, se somete a la aprobación por los organismos oficiales, dándolo por terminado en Cartagena 19 de Octubre de 2012.

El ingeniero técnico industrial.

Germán Roca Belmonte.

Firma:

Cartagena, 22 de Octubre de 2012



ÍNDICE:

ANEJO A: CÁLCULOS.....	1
A.1. CÁLCULO DE LA PARED POSTERIOR:.....	1
A.1.1. CARGAS QUE SOPORTARÁ LA ESTRUCTURA.	1
A.1.2. PLANCHA DE ACERO DE LA PARED.....	3
A.1.3 OBTENCIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE ESFUERZOS RESULTANTES DE LA APLICACIÓN DE LAS CARGAS SUPUESTAS EN LA ESTRUCTURA DE LA PARED.....	5
A.1.4. CÁLCULO DE LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.....	22
A.1.5 DIMENSIONADO DE BARRA VERTICAL.....	23
A.1.6 DIMENSIONADO DE BARRA HORIZONTAL.	28
A.1.7 DIMENSIONES DEFINITIVAS DE LA ESTRUCTURA.	33
A.1.8 Peso de la estructura.....	33
A.2. BARANDILLAS DE PROTECCIÓN.	35
A.2.1. INTRODUCCIÓN.....	35
A.2.2. CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA.	36
A.2.3. DIMENSIONADO DE LA BARANDILLA.	37
A.2.4. DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA.	38
A.2.5. PESO DE LAS BARANDILLAS.....	38
A.3. BASTIDOR INFERIOR.	39
A.3.1. SUELO DE LA PLATAFORMA.	39
A.3.2. CARGAS QUE SE EJERCEN SOBRE EL BASTIDOR INFERIOR.....	40
A.3.3. OBTENCIÓN DE LOS DIAGRAMAS.	45
A.3.4. ELECCIÓN DE LAS BARRAS DE ESTUDIO.....	49
A.3.5. DIMENSIONADO DE BARRAS Y COMPROBACIONES.	49
A.3.6. DIMENSIONES DEFINITIVAS DE LA ESTRUCTURA.	63
A.3.7. PESO DE LA ESTRUCTURA.	64
A.4. CÁLCULO DEL BASTIDOR POSTERIOR.....	67
A.4.1. INTRODUCCIÓN.....	67
A.4.2. HIPÓTESIS DE PARTIDA.	67
A.4.3. CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA.	68
A.4.4. ELECCIÓN DE LAS BARRAS A ESTUDIO.....	71
A.4.5. DIMENSIONADO DE BARRAS.....	75
A.4.5. PESO DE LA ESTRUCTURA.	90



ANEJO A: CÁLCULOS

A.1. CÁLCULO DE LA PARED POSTERIOR:

Este montacargas tendrá una pared posterior para impedir el riesgo de caída de personas y de la propia carga de la unidad de transporte de cargas durante las operaciones de carga y descarga.

Por tanto se ha optado por poner una pared de una altura de 1400 mm con una chapa que la cubra, para evitar así también que la carga que se introduzca en el montacargas se pueda deslizar por el hueco donde se encuentran los cables, pistones y demás dispositivos de elevación.

A.1.1. CARGAS QUE SOPORTARÁ LA ESTRUCTURA.

a) Por norma esta pared debe soportar una fuerza de 1000 N aplicada en el punto más desfavorable, teniendo una deformación de menos de 10mm.

b) A la hora de introducir la carga en el montacargas, la transpaleta puede chocar contra la pared posterior.

Hipótesis:

Solo se puede cargar palet por palet y según la norma de construcción de los europalets estos pueden soportar un máximo de 1200 kg.

Una persona normalmente anda a 5km/h, y si lleva una carga de 1200kg irá más despacio, y si se considera que cuando entra al montacargas se realizan maniobras para encuadrar la carga, la velocidad a la que puede ir será muy lenta.

Por tanto se llega a la conclusión de que para evitar que la carretilla se escape, considerar una velocidad de 5km/h es suficiente.

Determinación de la fuerza generada en el choque:

Se calcula la cantidad de movimiento que genera el impacto, teniendo en cuenta las siguientes suposiciones:

-Masa= 1200kg

-Velocidad inicial = $5 \text{ km / h} = \frac{25}{18} \text{ m/s}$

-Velocidad final = $1 \text{ km / h} = \frac{5}{18} \text{ m /s}$

$$\Delta P = M * (V_f - V_i) = -1333.33 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{A.1})$$



Una vez obtenida la cantidad de movimiento que se genera en el choque, suponiendo un tiempo de contacto entre el palet y la pared de 0.1 s, se obtiene la fuerza que se genera en el impacto.

$$F = \frac{\Delta P}{t_{\text{contacto}}} = -13333.3N \approx 13350 N \quad (\text{A.2})$$

Determinación de la distribución de carga:

La fuerza calculada anteriormente es la generada por un palet cuando choca. Pero esta fuerza no se aplica en un punto sino que lo hace en una superficie ya que el choque lo provoca un palet cargado de mercancía.

Se ha supuesto que la superficie del palet cargado con cajas sea de: 800 mm de ancho por 1400 mm de alto (igual que la altura de la pared).

Por lo cual:

$$q_1 = \frac{F}{A_{\text{distribución}}} = \frac{13350 N}{0.8 \times 1.4 m^2} = 11919.643 \frac{N}{m^2} \quad (\text{A.3})$$

Esta carga se considerará uniformemente repartida por las barras que cubre la superficie de $0.8 \times 1.4 m^2$ (rayada en la figura A.1),

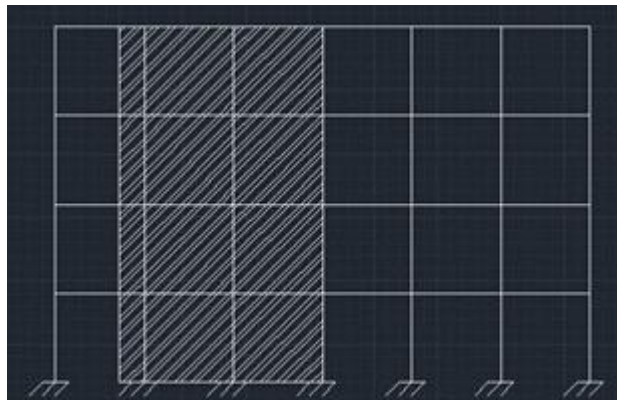


Figura A.1. Esquema de la pared.

A la hora de considerar esta fuerza en la estructura para el dimensionado de las barras se considerara que la fuerza de 13350 N es soportada por las barras que están detrás de la parte rayada de la figura.

Las barras tienen una longitud total de,

$$L = (3 * 1.4 m) + (8 * 0.35) + (4 * 0.1) = 7.4 m \quad (\text{A.4})$$



Por tanto la fuerza que ejerce el choque por unidad de longitud es

$$p = \frac{P}{L} = \frac{13350 \text{ N}}{7.4 \text{ m}} = 1804.054 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (\text{A.5})$$

c) Peso de la plancha de acero.

A.1.2. PLANCHA DE ACERO DE LA PARED.

A.1.2.1 Grosor de la plancha.

Para calcular el grosor se opta por un acero S235, cuyas características son adecuadas para el caso en estudio. Se ha procedido de la siguiente manera:

Como la estructura se asimila a una malla de cuadrados de $350 \times 350 \text{ mm}^2$ se coge el área más desfavorable en que se debe aplicar la carga. Como esta se distribuye en una superficie de 800 mm de ancho y 1400 mm de alto sobre la pared (zona rayada en la figura A.1) se necesita conocer que carga se ejerce sobre un cuadrado.

Como el impacto de la transpaleta ejerce una fuerza sobre la superficie rayada de $q_1 = 11919.643 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ y esta ocupa 8 cuadrados enteros, para saber la fuerza por unidad de superficie sobre un cuadrado basta con hacer una simple división:

$$q = \frac{q_1}{8} = \frac{11919.643 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{8} = 1489,08 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (\text{A.6})$$

Ya se ha determinado la carga que actúa sobre un cuadrado. La hipótesis consiste en hallar el espesor a través del módulo resistente, es decir:

$$\text{El módulo resistente es: } W = \frac{I}{\frac{h}{2}} = \frac{\frac{1}{12} * b * h^3}{\frac{h}{2}} = \frac{b * h^2}{6} \quad (\text{A.7})$$

$$\text{Además el módulo resistente es: } W = \frac{M_{max}}{\sigma_{adm}} = \frac{M_{max}}{\frac{\sigma_e}{\gamma_{seg}}} \quad (\text{A.8})$$

Igualando ambas fórmulas y despejando el espesor de chapa h se queda:

$$h = \sqrt{\frac{6 * \gamma_{seg} * M_{max}}{b * \sigma_e}} \quad (\text{A.9})$$



Finalmente queda calcular el M_{max} . Sobre un cuadrado de 350 x 350 mm se ejerce una fuerza de $q = 1489,08 \frac{N}{m^2}$. Para convertir esta en una carga lineal se multiplica por un lado del cuadrado quedando:

$$q_2 = 1489,08 * 0,35 = 521,178 \frac{N}{m} \quad (A.10)$$

El momento al que está sometido el cuadrado se calculará como si fuera una viga biempotrada con una carga lineal uniformemente repartida por toda la longitud del mismo ($b = 350$ mm).

$$M_{max} = \frac{q_2 * b^2}{12} = \frac{521,178 \frac{N}{m} * 0,35^2}{12} = 5,32 \text{ Nm} \quad (A.11)$$

Sustituyendo valores en la ecuación A.9 tenemos:

$$h = \sqrt{\frac{6 * \gamma_{seg} * M_{max}}{b * \sigma_e}} = \sqrt{\frac{6 * 1,5 * 5,320 \text{ Nm}}{350 \text{ mm} * 235 \frac{N}{mm}}} = 0,9849 \text{ mm} \approx 1 \text{ mm} \quad (A.12)$$

Según el resultado obtenido, el espesor de la placa debería ser de 1 mm. Utilizando un factor de seguridad de 2.5 se tiene que el espesor de la placa pasa a 2.5 mm. Este espesor se lleva a uno comercial, por lo que se toma un espesor de 3mm.

A.1.2.2. Peso de la plancha de acero.

El volumen de la plancha es

$$V = (2,1 \text{ m}) * (1,4 \text{ m}) * (0,003) = 0,00882 \text{ m}^3 \quad (A.13)$$

La masa se obtiene multiplicando el volumen de la plancha por la densidad del acero.

$$m = 0,00882 \text{ m}^3 * 7850 \frac{kg}{m^3} = 69,237 \text{ kg} \quad (A.14)$$

Por tanto, el peso de la plancha de acero es,

$$P = 69,237 \text{ kg} * 10 \frac{m}{s^2} = 692,37 \text{ N} \quad (A.15)$$

Este peso se considerará uniformemente repartido por las barras. Las barras de la pared tienen una longitud total de,

$$L = (7 * 1,4 \text{ m}) + (4 * 2,1) = 18,2 \text{ m} \quad (A.16)$$



Por tanto el peso que ejerce la plancha de acero por unidad de longitud es

$$p = \frac{P}{L} = \frac{692.37 \text{ N}}{18.2 \text{ m}} = 38.042 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (\text{A.17})$$

A.1.3 OBTENCIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE ESFUERZOS RESULTANTES DE LA APLICACIÓN DE LAS CARGAS SUPUESTAS EN LA ESTRUCTURA DE LA PARED.

Para la elaboración de los diagramas se ha usado el programa Cype. Los pasos seguidos han sido:

Primero: Dibujar el esquema simplificado de la estructura.

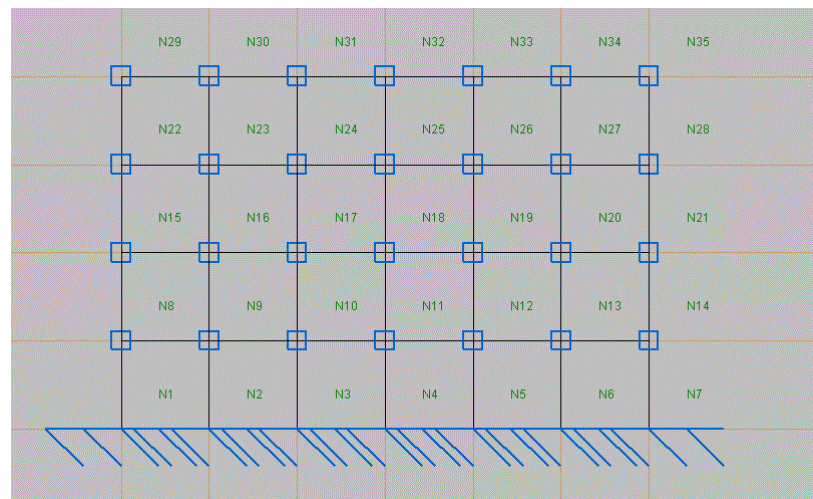


Figura A.2. Esquema de la pared en Cype.

Segundo: Introducir las cargas.

Se introduce el peso de la plancha como una carga permanente.

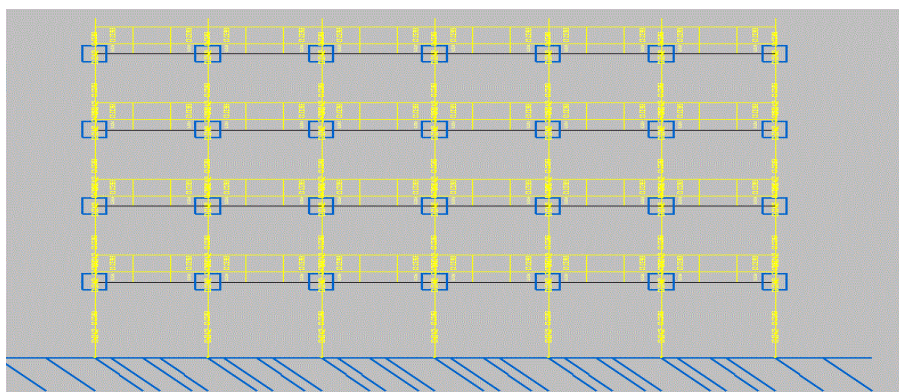


Figura A.3. Vista de carga generada por el peso plancha

Se introduce la fuerza de 1000 N y la generada por el choque como carga accidental.

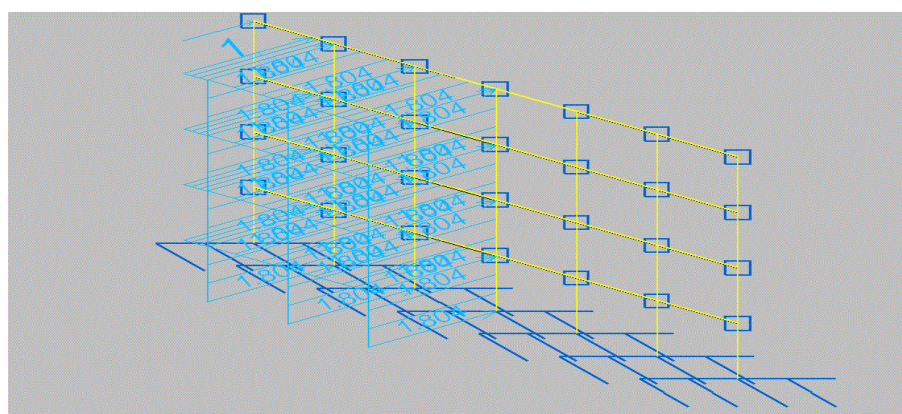


Figura A.4. Fuerzas generadas por el choque de mercancía.

Tercero: Generar los diagramas.

Como se tiene una estructura simétrica es innecesario calcular los diagramas de todas las barras. Además como la carga accidental se ha aplicado en el lado izquierdo de la estructura los diagramas que se presentan en este apartado son:

Barra N1 a N29	- Barra N8 a N11
Barra N2 a N30	- Barra N15 a N18
Barra N3 a N31	- Barra N22 a N25
Barra N4 a N32	- Barra N29 a N32



Estos diagramas de esfuerzo son la combinación de los dos tipos de carga aplicada: permanente y accidental, teniendo en cuenta la recomendación del CTE-DB-SE-Aceros, respecto a los coeficientes para la combinación:

A continuación se presentan los diagramas obtenidos:

Diagramas barra N1-N29:

Nota: Esta barra no tiene momentos en el eje z.

Diagrama de axiles(N) :

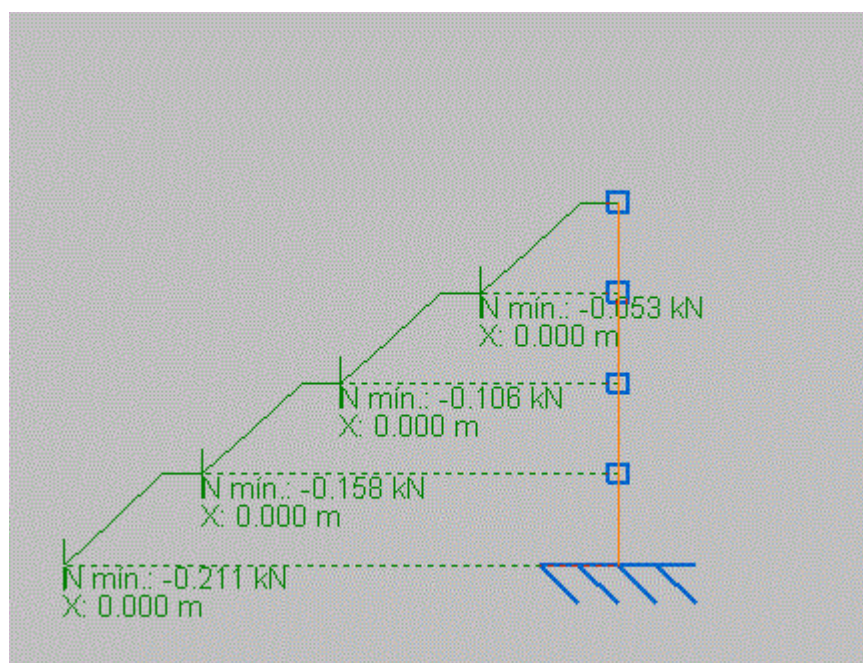


Figura A.5. Diagrama de axiles.



Diagrama de cortante z (V_z) :

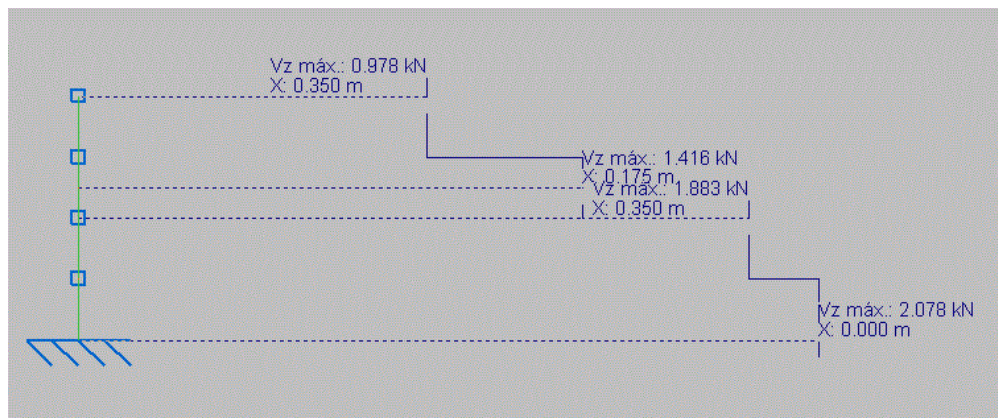


Figura A.6. Diagrama de cortante V_z .

Diagrama de cortante Y (V_y) :

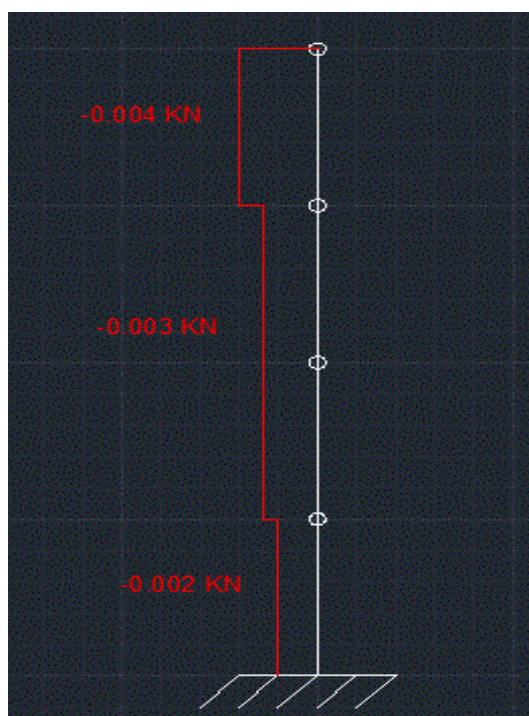


Figura A.7. Diagrama de cortante V_y .



Diagrama de torsor (Mt):

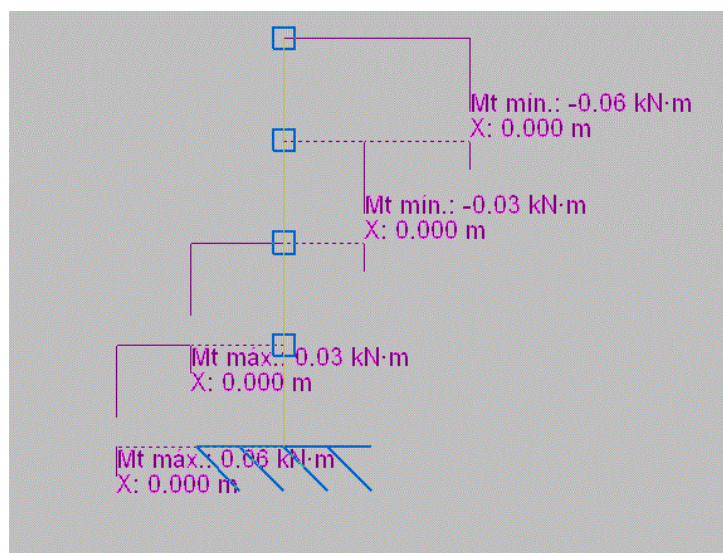


Figura A.8. Diagrama de momento torsor.

Diagrama de momento en Y (My) :

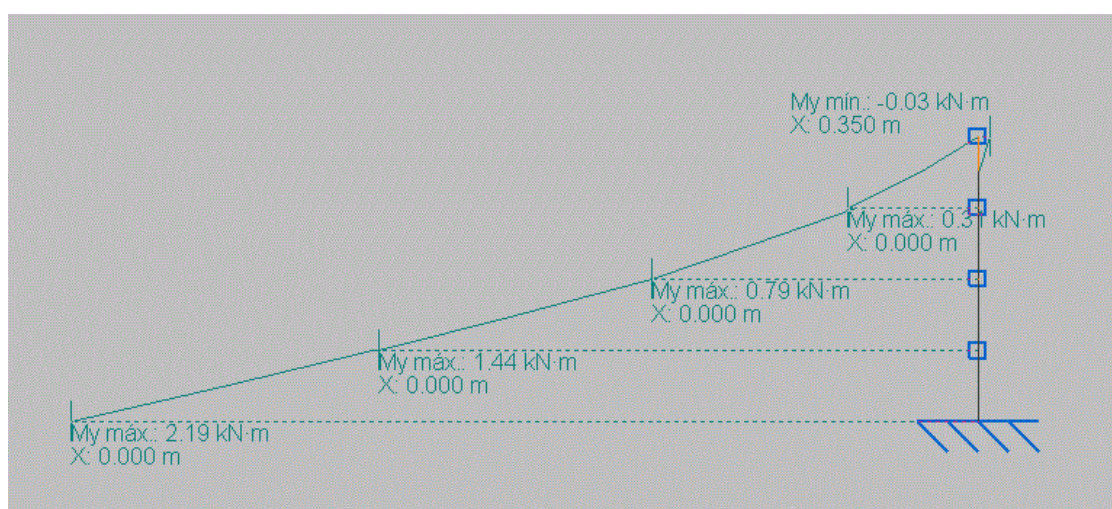


Figura A.9. Diagrama de momento My.



Diagramas barra N2-N30:

Nota: Esta barra no tiene momentos en el eje z.

Esta barra no tiene cortante en Y.

Diagrama de axiles(N) :

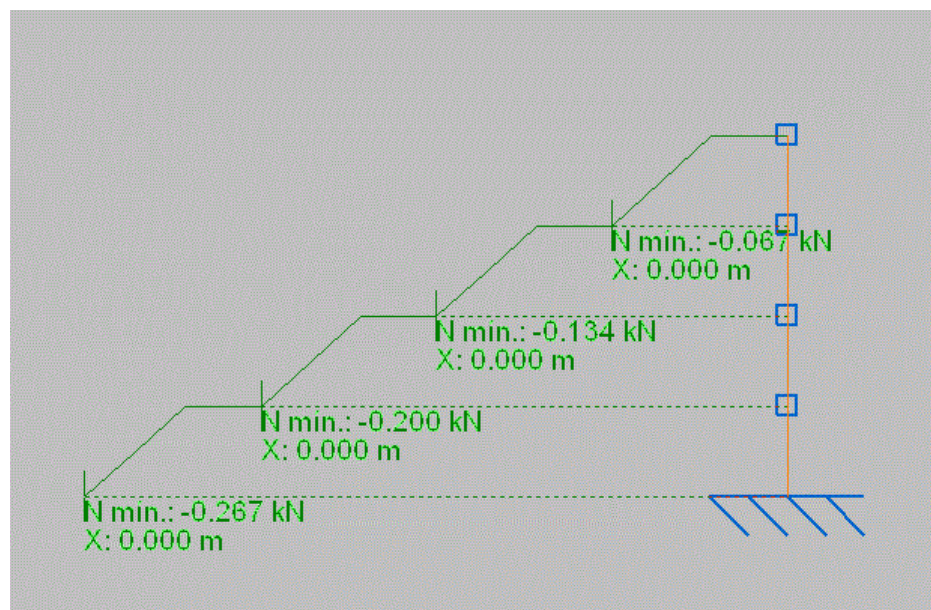


Figura A.10. Diagrama de axiles.

Diagrama de cortante z (Vz) :

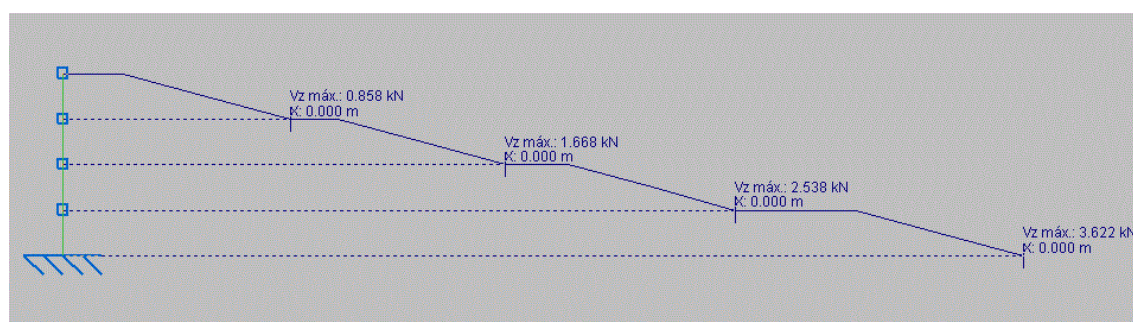


Figura A.11. Diagrama de cortante Vz.



Diagrama de torsor (Mt):

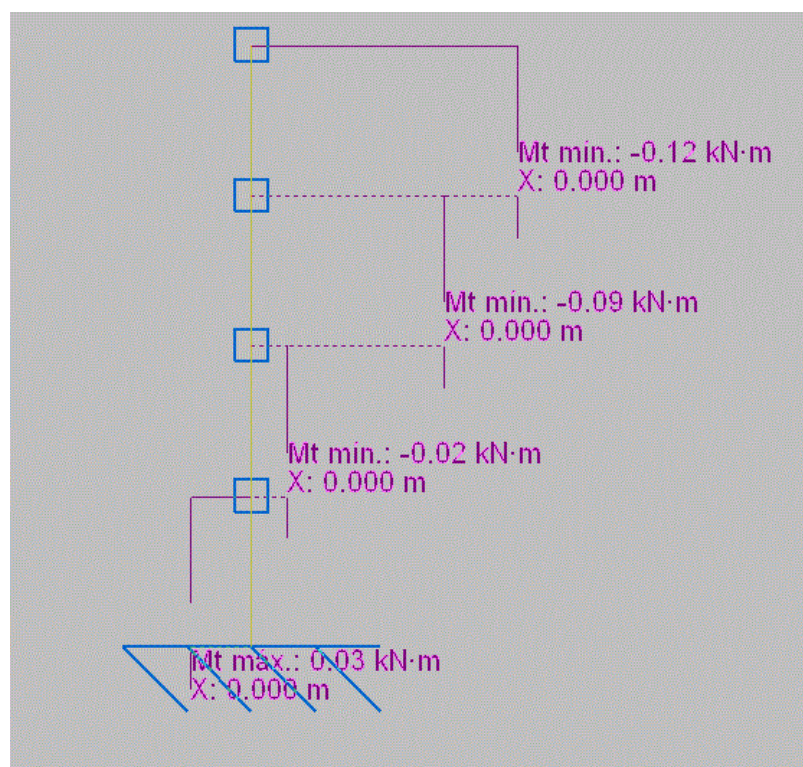


Figura A.12. Diagrama de momento torsor.

Diagrama de momento en Y (My) :

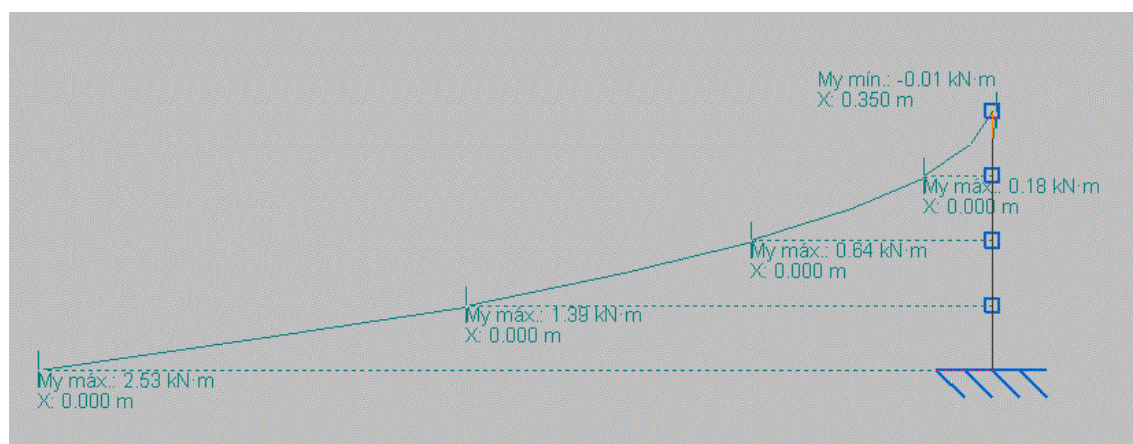


Figura A.13. Diagrama momento My.



Diagramas barra N3-N31:

Nota: Esta barra no tiene momentos en el eje z.

Esta barra no tiene cortante en Y.

Diagrama de axiles(N):

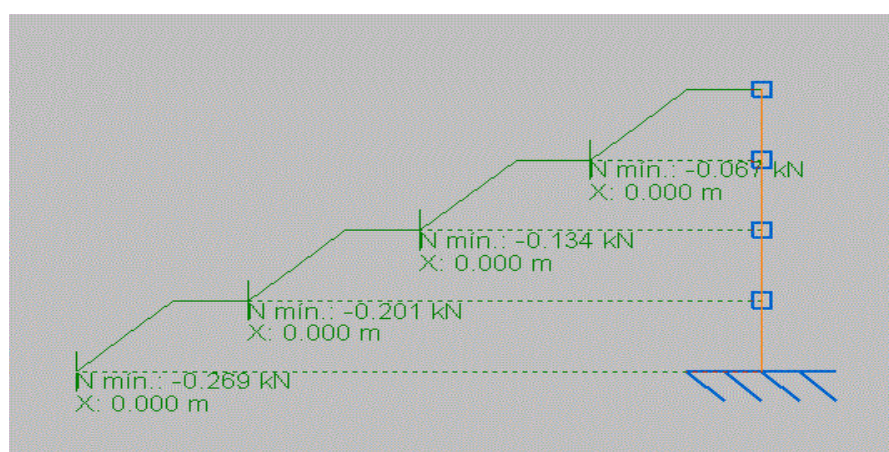


Figura A.14. Diagrama de axiles.

Diagrama de cortante z (Vz) :

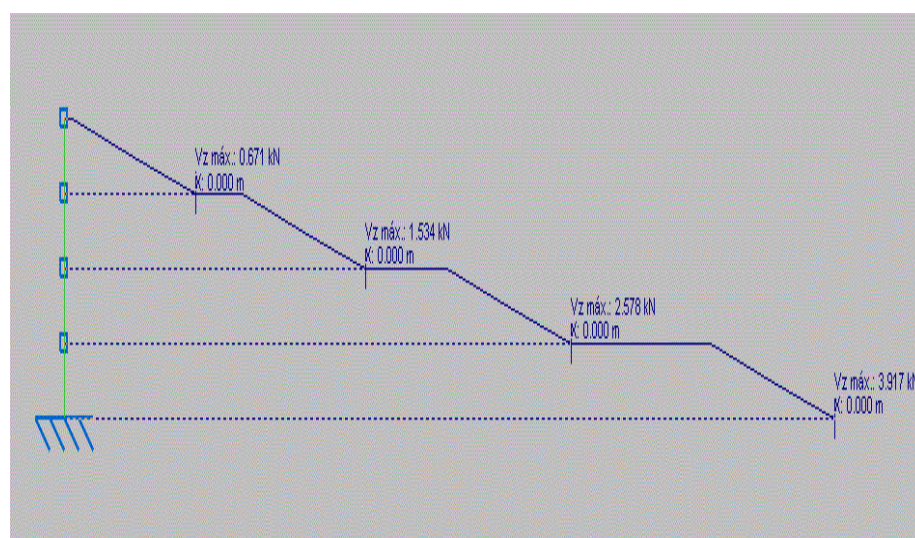


Figura A.15. Diagrama de cortante Vz.

Diagrama de torsor (M_t):

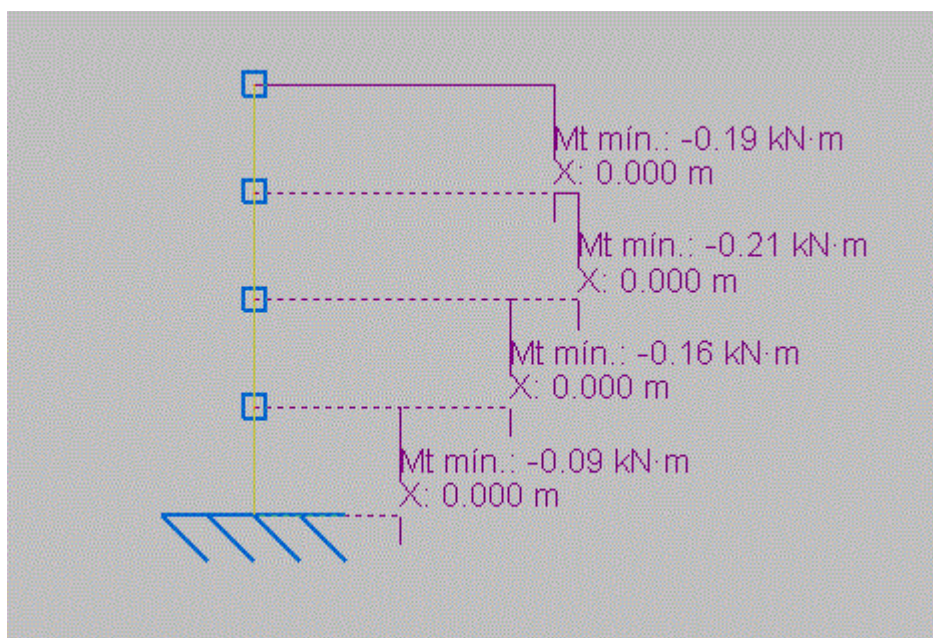


Figura A.16. Diagrama de momento torsor.

Diagrama de momento en Y (M_y):

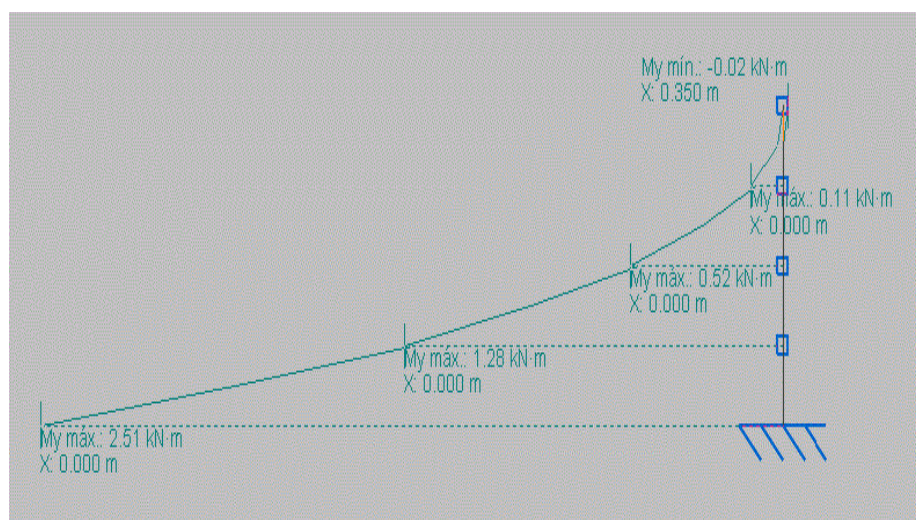


Figura A.17. Diagrama de momento M_y .



Diagramas barra N4-N32:

Nota: Esta barra no tiene momentos en el eje z.

Esta barra no tiene cortante en Y.

Diagrama de axiles(N) :

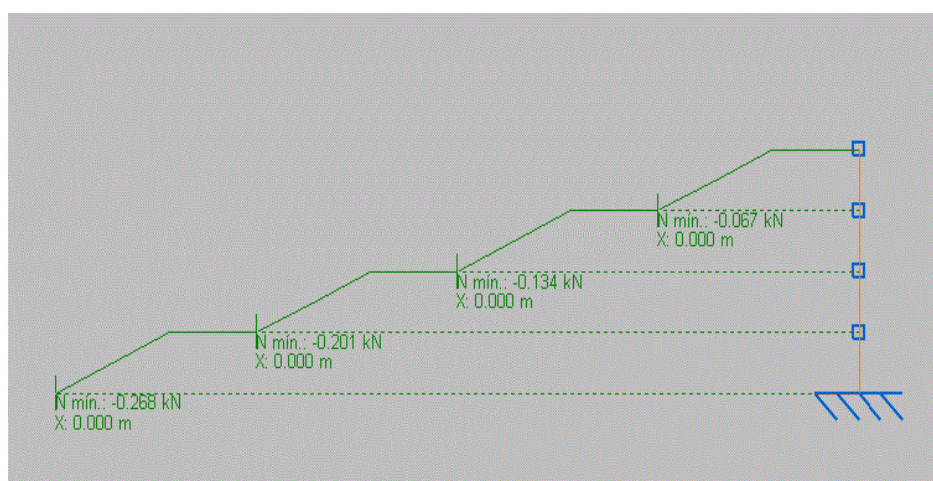


Figura A.18. Diagrama de axiles.

Diagrama de cortante z (Vz) :

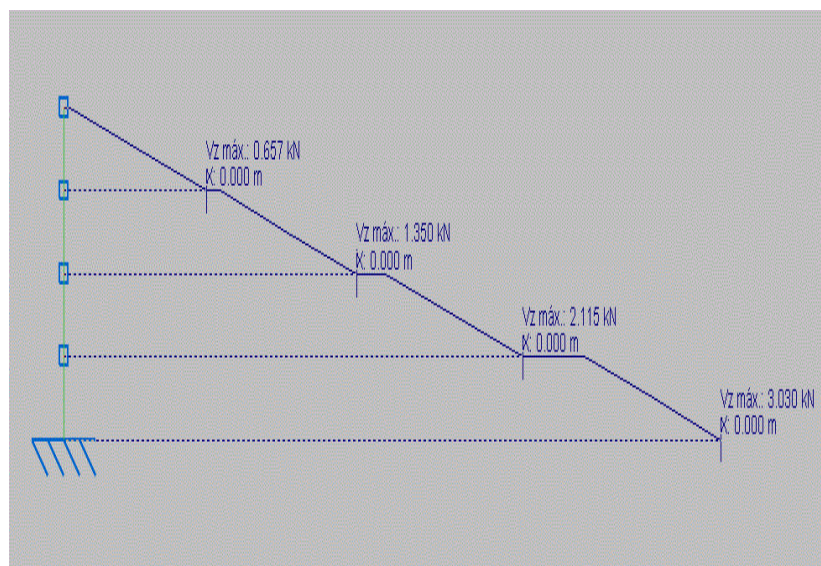


Figura A.19. Diagrama de cortante Vz.



Diagrama de torsor (M_t):

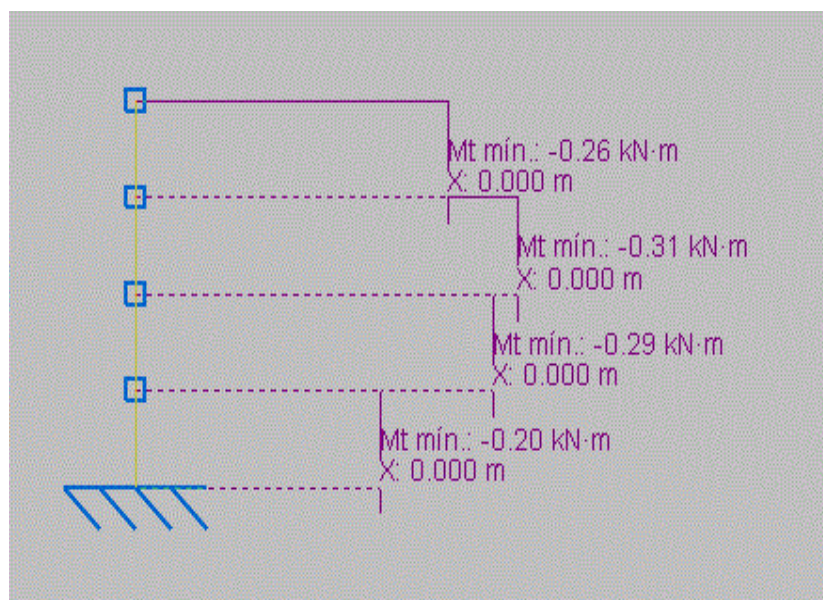


Figura A.20. Diagrama de momento torsor.

Diagrama de momento en Y (M_y):

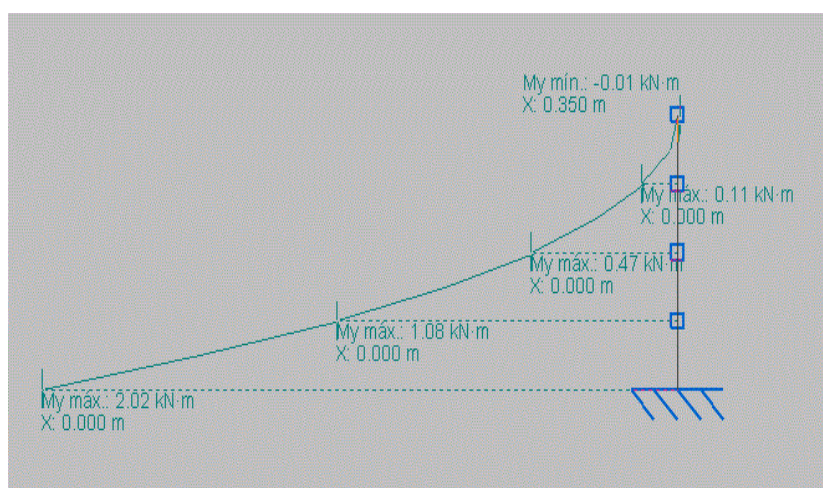


Figura A.21. Diagrama de momento M_y .



Diagramas barras N8-N9-N10-N11:

Nota: Esta barra no tiene esfuerzos axiales.

Esta barra no tiene momentos en Y.

Diagrama de cortante z (V_z) :

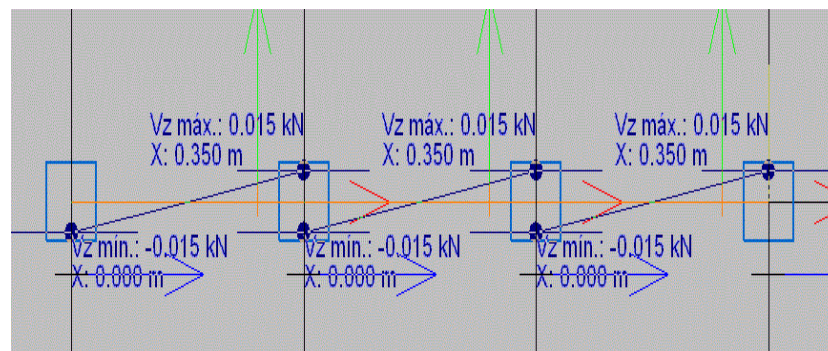


Figura A.22. Diagrama de axiles.

Diagrama de cortante Y (V_y) :

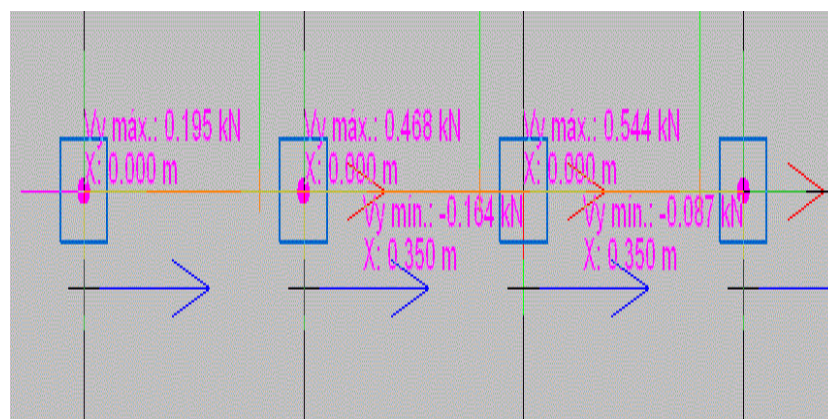


Figura A.23. Diagrama de cortante V_y .

Diagrama de torsor (M_t):

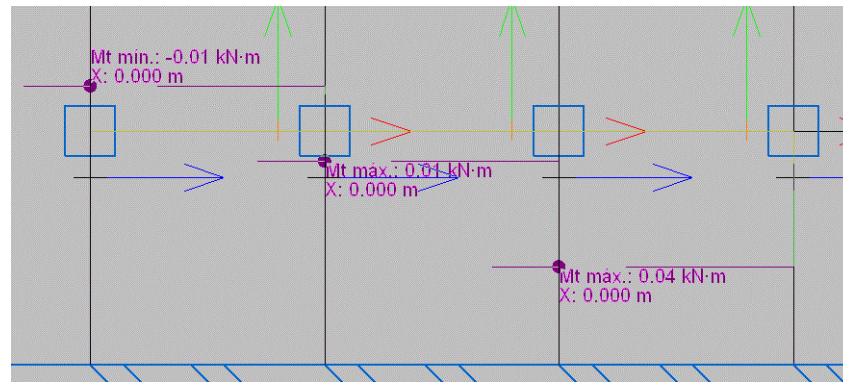


Figura A.24. Diagrama de momento torsor.

Diagrama de momento en Z (M_z):

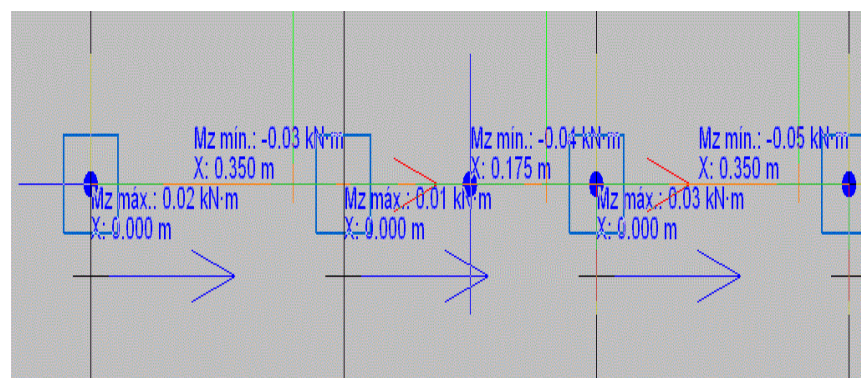


Figura A.25. Diagrama de momento M_z .

Diagramas barras N15-N16-N17-N18:

Nota: Esta barra no tiene esfuerzos axiales.

Esta barra no tiene momentos en Y.



Diagrama de cortante z (Vz) :

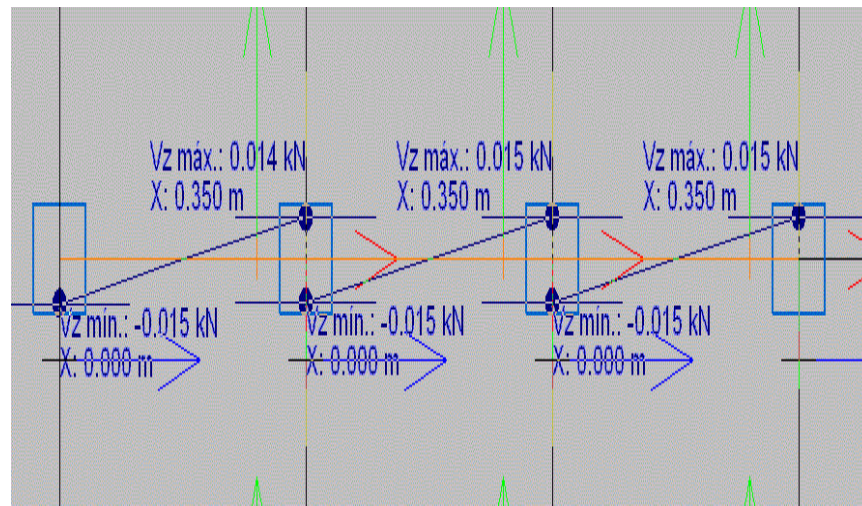


Figura A.26. Diagrama de cortante Vz.

Diagrama de cortante Y (Vy) :

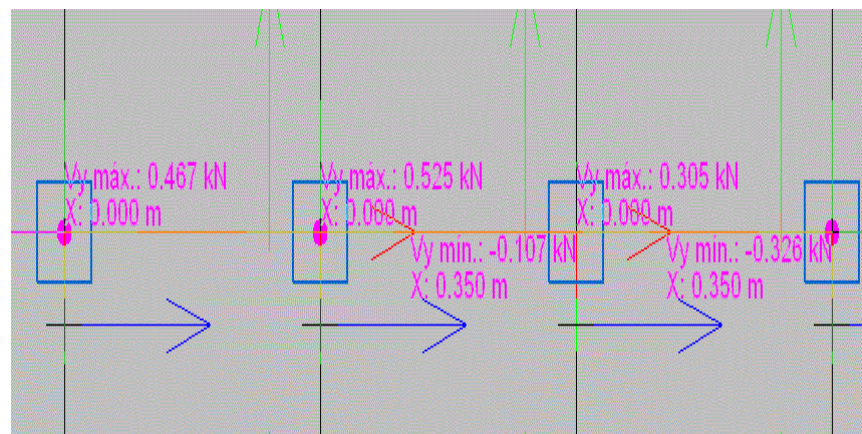


Figura A.27. Diagrama de cortante Vy.



Diagrama de torsor (M_t):

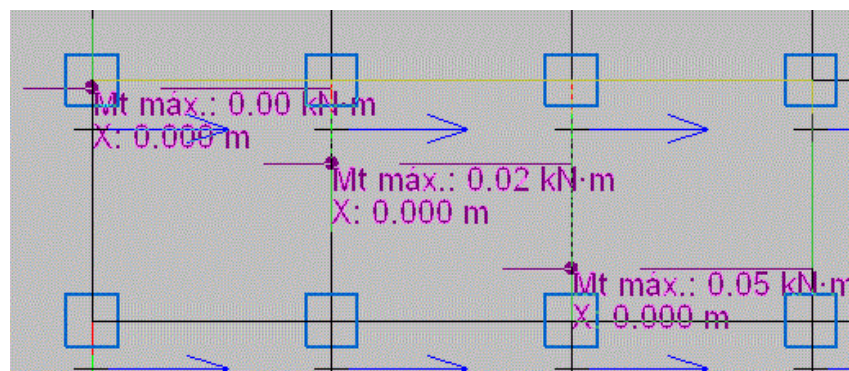


Figura A.28. Diagrama de momento torsor.

Diagrama de momento en Z (M_z):

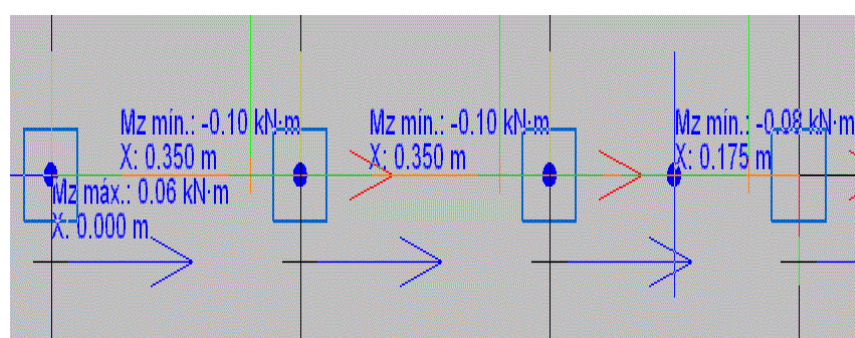


Figura A.29. Diagrama de momento M_z .

Diagramas barras N22-N23-N24-N25:

Nota: Esta barra no tiene esfuerzos axiales.

Esta barra no tiene momentos en Y.

Diagrama de cortante z (V_z):

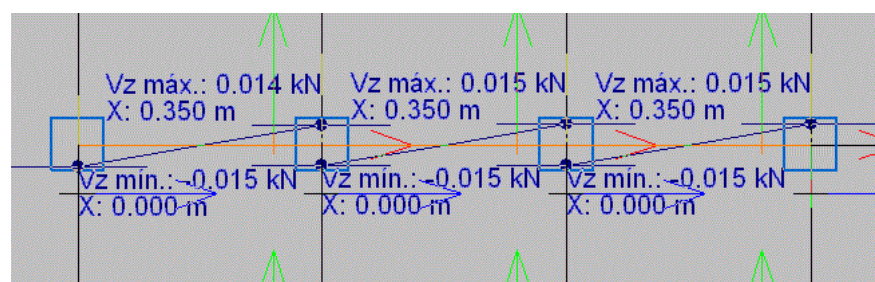


Figura A.30. Diagrama de cortante V_z .



Diagrama de cortante Y (V_y) :

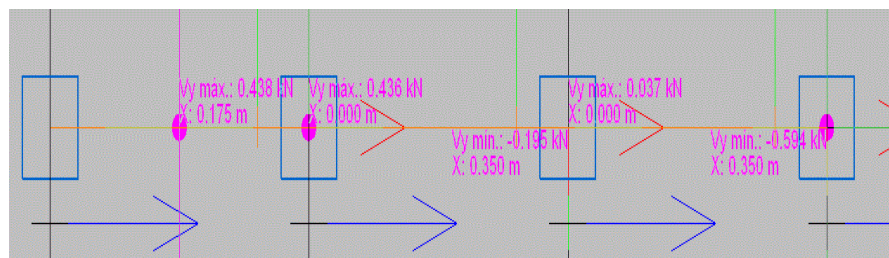


Figura A.31. Diagrama de cortante V_y .

Diagrama de torsor (Mt):

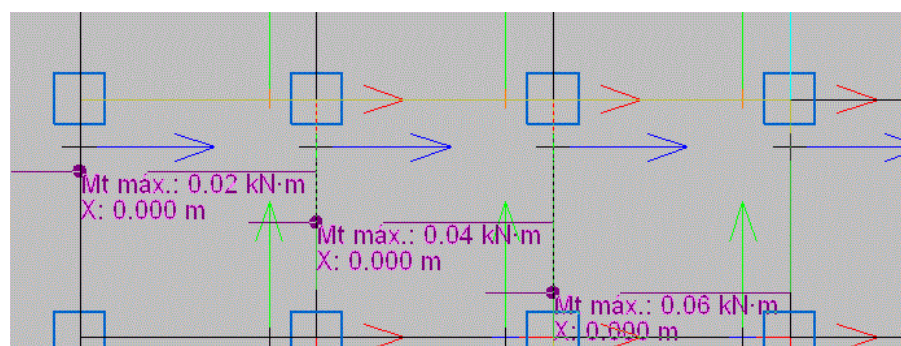


Figura A.32. Diagrama de momento torsor.

Diagrama de momento en Z (M_z) :

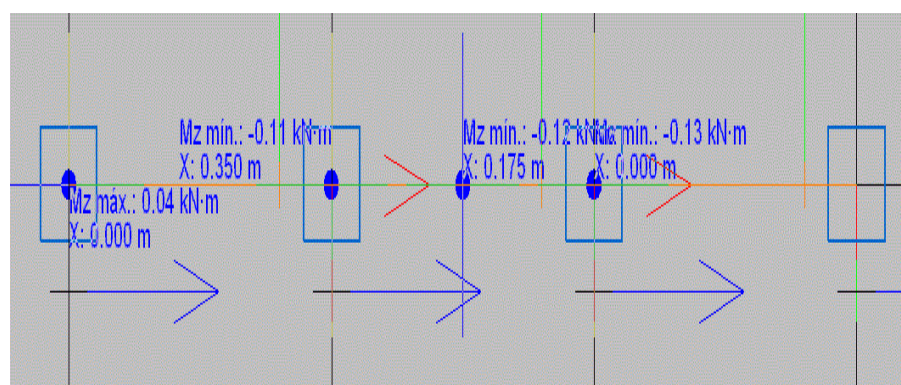


Figura A.33. Diagrama de momento M_z .

Diagramas barras N29-N30-N31-N32:

Nota: Esta barra no tiene momentos en el eje y.

Diagrama de axiles(N) :

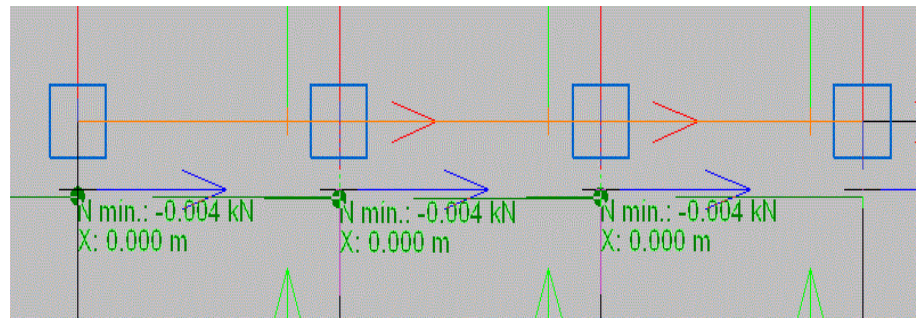


Figura A.34. Diagrama de axiles.

Diagrama de cortante z (Vz) :

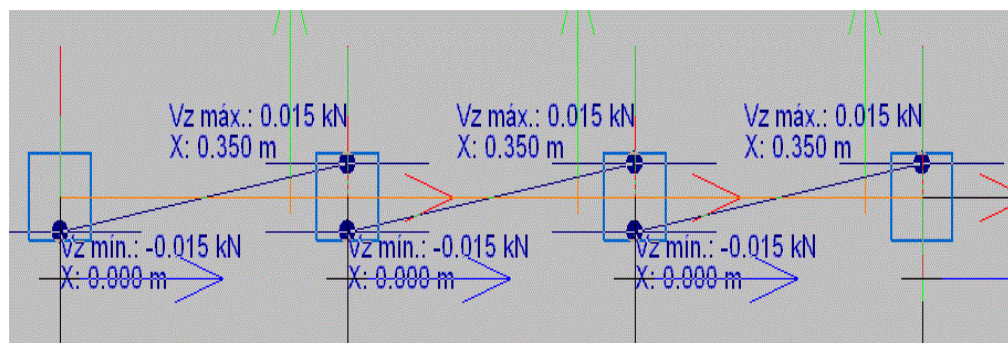


Figura A.35. Diagrama de cortante Vz.

Diagrama de cortante Y (Vy) :

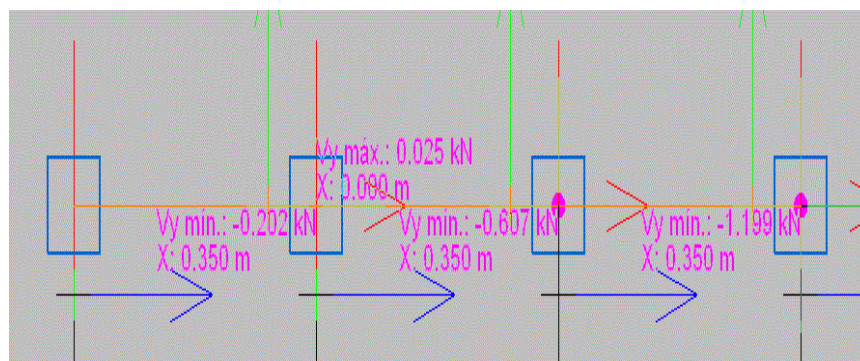


Figura A.36. Diagrama de cortante Vy.

Diagrama de torsor (M_t):

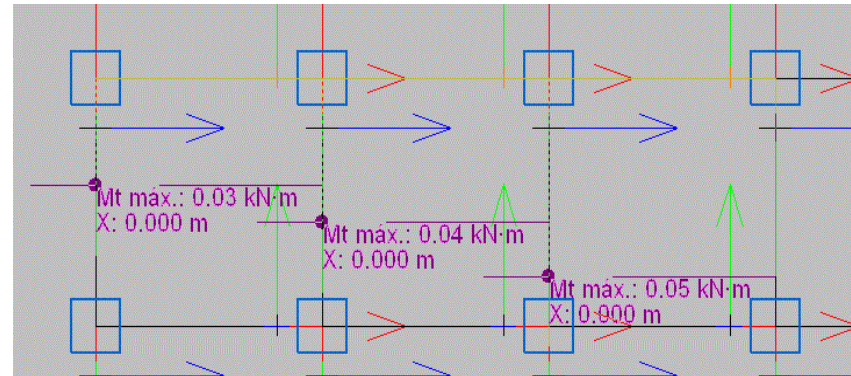


Figura A.37. Diagrama de momento torsor.

Diagrama de momento en Z (M_z):

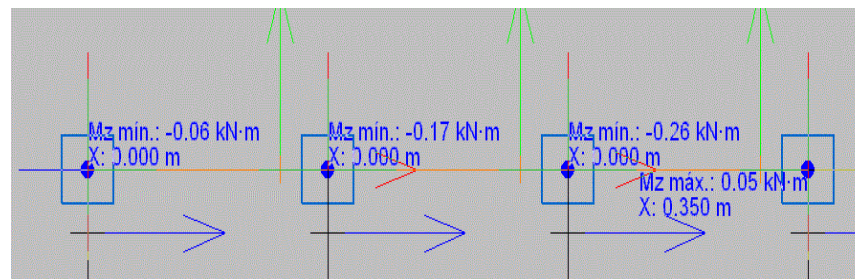


Figura A.38. Diagrama de momento M_z .

A.1.4. CÁLCULO DE LAS BARRAS DE LA ESTRUCTURA.

Para calcular cuales son las dimensiones que deben tener las barras de la estructura se deben buscar en los diagramas de esfuerzos las zonas donde se tienen las mayores solicitaciones.

Para el diseño se ha optado por que todas las barras verticales sean de iguales dimensiones con una altura de 1400mm y las barras horizontales, por otro lado, tengan dimensiones iguales entre sí.

Barra vertical:

Observando los diagramas de las barras verticales vemos que la barra más solicitada es la comprendida entre el nudo 2 al nudo 30.



Barra horizontal:

Observando los diagramas de las barras horizontales vemos que la barra más solicitada es la comprendida entre el nudo 31 al nudo 32.

A.1.5 DIMENSIONADO DE BARRA VERTICAL.

A.1.5.1. Predimensionado.

Partiendo de la fórmula del momento flector:

$M = W * f_{yd}$, donde W es el módulo resistente y f_{yd} es la resistencia de cálculo del acero.

Buscando en los diagramas de la barra, se obtienen los momentos flectores en Z e Y máximos:

$$M_{y\max} = 2.53 \text{ KN m} \quad (\text{A.18})$$

$$M_{z\max} = 0 \quad (\text{A.19})$$

Como la barra no tiene momento en Z se trabajará con el momento en Y . Ahora se procede a la búsqueda del mínimo módulo resistente plástico en Y que tiene que tener la barra. Se selecciona para estas barras un acero de tipo S355.

$$M_y = W_y * f_{yd} \rightarrow W_y = \frac{M_{y\max}}{f_{yd}} = \frac{2.53 * 10^6 \text{ N mm}}{\frac{355 \text{ N}}{1.05 \text{ mm}^2}} = 7.483 \text{ cm}^3 \quad (\text{A.20})$$

Como la norma seguida por los montacargas obliga a usar un factor de seguridad de 2.5, se usará para mayorar el módulo resistente.

Por tanto el módulo resistente plástico mayorado es:

$$W_y = 2.5 * 7.483 \text{ cm}^3 = 18.71 \text{ cm}^3 \quad (\text{A.21})$$

Una vez obtenido este dato, se selecciona en el prontuario de perfiles cuadrados una barra cuyo $W_y > 18.71 \text{ cm}^3$.

El perfil es: Perfil cuadrado 70 x 3 mm, ya que tiene un módulo resistente plástico de 19,3 cm³.



Las características del perfil escogido se observan en la siguiente tabla:

Perfil: CUADRADO 70 x 3
Material: Acero (S355)

NUDOS		LONGITUD (m)	Características mecánicas			
INICIAL	FINAL		Área (cm ²)	I _y (cm ⁴)	I _z (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
2	30	1,4	7,81	57,5	57,5	92,4

Tabla 1. Características perfil.

A.1.5.2. Comprobaciones E.L.U.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\lambda : \underline{\underline{0.675}}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{\underline{1}}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\text{A} : \underline{\underline{7.81}} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\text{f}_y : \underline{\underline{355.0}} \text{ MPa}$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\text{N}_{cr} : \underline{\underline{608.038}} \text{ kN}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\text{N}_{cr,y} : \underline{\underline{608.038}} \text{ kN}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$\text{N}_{cr,z} : \underline{\underline{608.0.38}} \text{ kN}$$



Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.39}$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{2.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{6.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{19.4} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{mo} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.05}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{3.622} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{74.96} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{3.84} \text{ cm}^2$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{64} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355} \text{ MPa}$$

γ_{mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{mo} : \underline{1.05}$$



Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{\quad 0.39 \quad}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

M_{y,Ed}, **M_{z,Ed}**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

M_{pl,Rd,y}, **M_{pl,Rd,z}**: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\begin{array}{l} : \\ \mathbf{N}_{c,Ed} : \underline{\quad 0.267 \quad} \text{ kN} \\ : \\ \mathbf{M}_{y,Ed} : \underline{\quad 2.53 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m} \\ : \\ \mathbf{M}_{z,Ed} : \underline{\quad 0.00 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m} \\ : \\ \mathbf{Clase} : \underline{\quad 1 \quad} \\ : \\ \mathbf{N}_{pl,Rd} : \underline{\quad 264.056 \quad} \text{ kN} \\ : \\ \mathbf{M}_{pl,Rd,y} : \underline{\quad 6.56 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m} \\ : \\ \mathbf{M}_{pl,Rd,z} : \underline{\quad 6.56 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m} \end{array}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{\quad 0.025 \quad}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce entre los nudos 23 y 30.

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M}_{T,Ed} : \underline{\quad 0.12 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo **M_{T,Rd}** viene dado por:

$$\mathbf{M}_{T,Rd} : \underline{\quad 4.82 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$\mathbf{W}_T : \underline{\quad 24.7 \quad} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f}_{yd} : \underline{\quad 338.1 \quad} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f}_y : \underline{\quad 355.0 \quad} \text{ MPa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma}_{Mo} : \underline{\quad 1.05 \quad}$$



Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.05}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{3.622} \text{ kN}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{74.5} \text{ kN}$$

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{74.96} \text{ kN}$$

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{1.21} \text{ MPa}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{24.7} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{MO}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$



A.1.6 DIMENSIONADO DE BARRA HORIZONTAL.

A.1.6.1. Predimensionado.

Partiendo de la fórmula del momento flector:

$M = W * f_{yd}$, donde W es el módulo resistente plástico y f_{yd} es la resistencia de cálculo del acero.

Buscando en los diagramas de la barra N31-N32, se obtienen los momentos flectores en Z e Y máximos:

$$M_{z \max} = 0.26 \text{ KN m} \quad (\text{A.22})$$

$$M_{y \max} = 0 \quad (\text{A.23})$$

Como la barra no tiene momento en Y se trabajará con el momento en Z . Ahora se procede a la búsqueda del mínimo módulo resistente plástico en Z que tiene que tener la barra. Se selecciona para estas barras un acero de tipo S355.

$$M_z = W_z * f_{yd} \rightarrow W_z = \frac{M_{z \max}}{f_{yd}} = \frac{0.26 * 10^6 \text{ N mm}}{\frac{355 \text{ N}}{1.05 \text{ mm}^2}} = 0.769 \text{ cm}^3 \quad (\text{A.24})$$

Como la norma seguida por los montacargas obliga a usar un factor de seguridad de 2.5, se usará para mayorar el módulo resistente plástico.

Por tanto el módulo resistente plástico mayorado es:

$$W_z = 2.5 * 0.769 \text{ cm}^3 = 1.9225 \text{ cm}^3 \quad (\text{A.25})$$

Una vez obtenido este dato, se selecciona en el prontuario de perfiles cuadrados una barra cuyo $W_z > 1.9225 \text{ cm}^3$.

El perfil escogido: Perfil cuadrado 30 x 2 mm, ya que tiene un módulo resistente de 2.21 cm³.

Las características del perfil escogido se observan en la siguiente tabla:

Perfil: CUADRADO 30 x 2
Material: Acero (S355)

NUDOS		LONGITUD (m)	Características mecánicas			
INICIAL	FINAL		Área (cm ²)	I _y (cm ⁴)	I _z (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
2	30	0.35	2.14	2.72	2.72	4.54

Tabla.2. Características perfil.



A.1.6.2. Comprobaciones E.L.U.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.41}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{2.14} \text{ cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{460.2} \text{ kN}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{460.2} \text{ kN}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{460.2} \text{ kN}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta = \underline{0.00005}$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta = \underline{0.0004}$$

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.004} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$$N_{c,Rd} : \underline{72.35} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{2.14} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$



Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} : \underline{92.68} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{2.14} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_y : \underline{0}$$

$$\chi_z : \underline{0.88}$$

Siendo:

$$\phi_y : \underline{0.64}$$

$$\phi_z : \underline{0.64}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.41}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.41}$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{460.2} \text{ kN}$$

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{460.2} \text{ kN}$$

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{460.2} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.35}$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{0.75} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{2.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$



γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.0007}$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.015} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{20.3} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{1.04} \text{ cm}^2$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{26} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{2} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.05}$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.199} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{21.5} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{1.10} \text{ cm}^2$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{2.14} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{26} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{2} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$



Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.234}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N31.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.004} \text{ kN}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{72.35} \text{ kN}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{0.75} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{0.75} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.1}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo **M_{T,Rd}** viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{0.54} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{2.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{mo} : \underline{1.05}$$



A.1.7 DIMENSIONES DEFINITIVAS DE LA ESTRUCTURA.

Viendo que todas las comprobaciones a estado límite último han salido favorables, las dimensiones de la pared serán las siguientes:

Barras verticales:

Perfil tubular cuadrado 70 x 3 mm, con una longitud de 1400mm.

Barras horizontales:

Perfil tubular cuadrado 30 x 2 mm.

-Las barras N31-N32, N32-N33, N24-N25, N25-N26, N17-N18, N18-N19, N10-N11, N11-N12, tienen una longitud de 285 mm.

-El resto de barras horizontales tienen una longitud de 260 mm.

A.1.8 Peso de la estructura.

A.1.8.1. Peso de las barras.

Peso de las barras verticales:

Las barras verticales tienen un perfil tubular cuadrado de 70 x 3 mm, las cuales según la tabla de perfiles seguida tienen un masa por unidad de longitud de 6.13 kg / m.

El peso de una barra es:

$$P_v = 6.13 \frac{kg}{m} * 1.4 m = 8.582 kg \quad (A.26)$$

El peso del conjunto de las siete barras es:

$$P_{vt} = 7 * (8.582 kg) = 60.074 kg \quad (A.27)$$



Peso de las barras horizontales:

Las barras horizontales tienen un perfil tubular cuadrado de 30 x 2 mm, las cuales según la tabla de perfiles seguida tienen un masa por unidad de longitud de 1.68 kg / m.

El peso de la barra de 280 mm de longitud es:

$$Ph1 = 1.68 \frac{kg}{m} * 0.28 m = 0.4704 kg \quad (A.28)$$

El peso de la barra de 260 mm de longitud es:

$$Ph2 = 1.68 \frac{kg}{m} * 0.26 m = 0.4368 kg \quad (A.29)$$

El peso del conjunto de todas las barras horizontales es:

$$Pht = 8 * (0.4704 kg) + 16 * (0.4368 kg) = 10.752 kg \quad (A.30)$$

Peso del conjunto de todas las barras:

El peso de todas las barras es:

$$Pb = Pvt + Pht = 60.074 kg + 10.752 kg = 70.826 kg \quad (A.31)$$

A.1.8.2. Peso de las plancha de acero.

El peso de la plancha de acero es:

$$Pp = 69.237 kg$$

A.1.8.3. Peso total.

El peso total sale del resultado de sumar el peso de las barras y el peso de la plancha de acero.

$$P_T = Pp + Pb = 69.237 kg + 70.826 kg = 140.063 kg \quad (A.32)$$



A.2.BARANDILLAS DE PROTECCIÓN.

A.2.1. INTRODUCCIÓN.

Para impedir el riesgo de caída de personas de la unidad de transporte de carga durante la operación de carga y descarga se ha optado por proteger los laterales de esta con dos barandillas, como se puede observar en la figura A.39

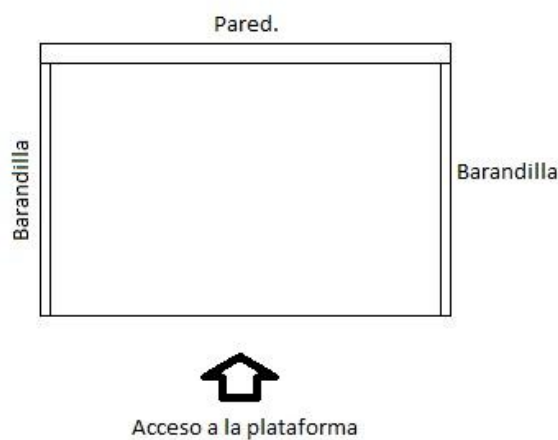


Figura A.39. Unidad de carga.

El diseño de la barandilla corresponde con lo establecido en la normativa, la cual expresa que ha de tener un pasamanos a una altura mínima de 1100 metros, un guardapie y una barra intermedia, como se puede ver en la figura A.40

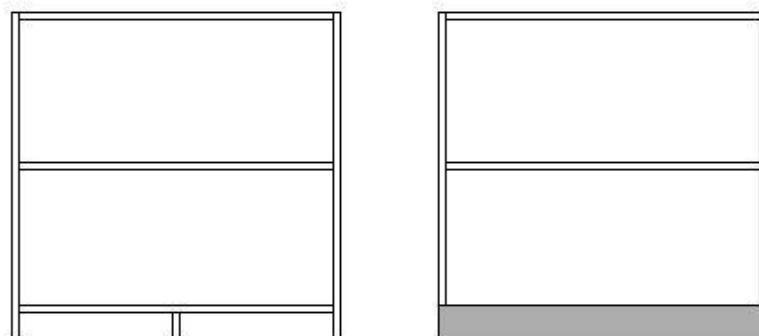


Figura A.40.Estructura barandilla (izquierda) y barandilla con chapa guardapie(derecha).



El guardapié será de la misma chapa que se utiliza para la pared posterior, compuesta por un acero S275 y un espesor de 3 mm.

El esquema para el dimensionado de los perfiles que conforman la barandilla se muestra en la figura A.41,

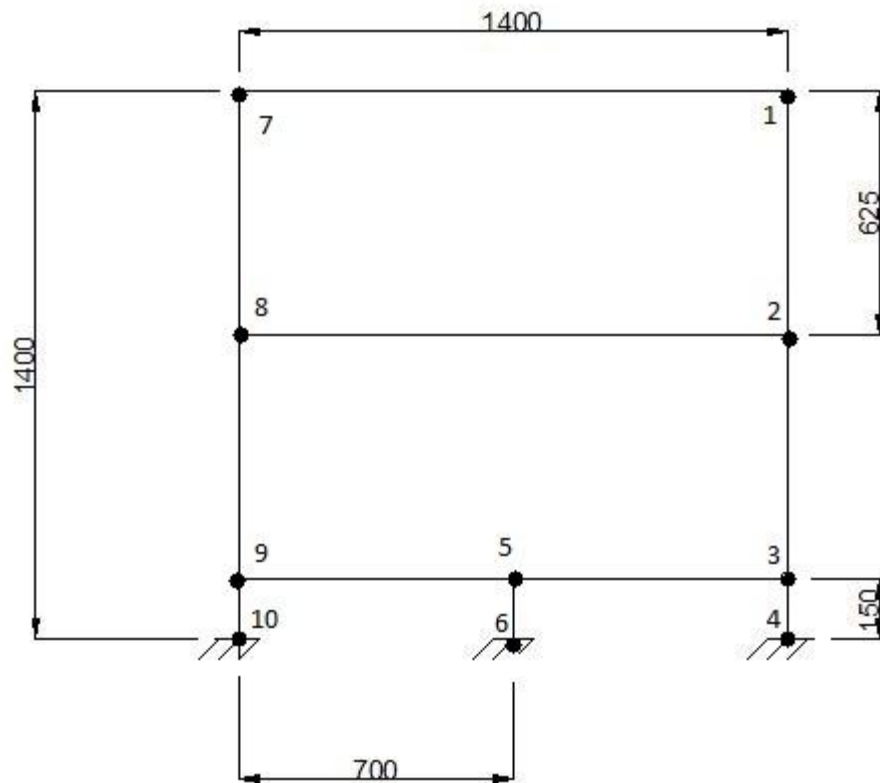


Figura A.41 Esquema de cálculo.

A.2.2.CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA.

Atendiendo lo especificado en la norma, esta barandilla tiene que tener una resistencia mecánica tal que cuando se aplique una fuerza de 1000 N en la posición más desfavorable de la barandilla, esta resista sin deformación permanente y con una deformación no superior a 10 mm.

Esta carga se aplicará en el nudo 7, como se ve en la figura A.42,

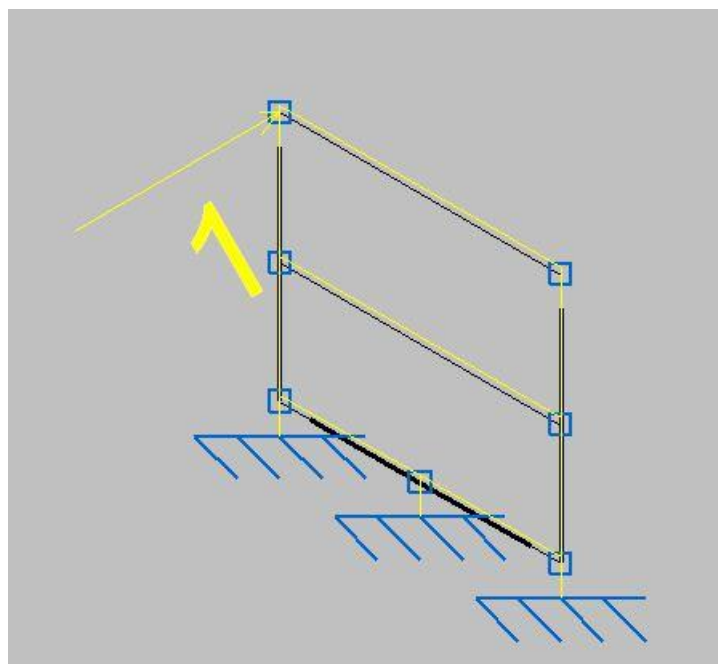


Figura A.42. Aplicación de la carga de 1kN.

A.2.3. DIMENSIONADO DE LA BARANDILLA.

Para la generación de los diagramas de esfuerzos en la estructura se usa el programa CYPE NUEVO METAL.

Como diseño se ha tomado que todas las barras sean iguales, por lo que solo se estudiarán los diagramas de la barra más solicitada. Al estar la carga de 1000 N aplicada sobre el nudo 7, es sobre la barra N7-N10 donde se dan los mayores esfuerzos, por tanto será esta la barra a estudiar y concretamente sobre el trozo N9-N10.

Para el dimensionado se usa el valor del momento en Z sobre el empotramiento (nudo 10) el cual es máximo, ya que es el mayor esfuerzo.

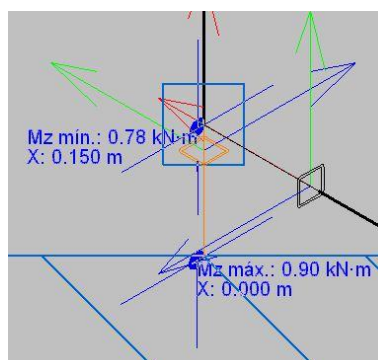


Figura A.43. Momento en z en el empotramiento.



En la imagen anterior se ve que M_{zmax} es 0.90 (Kn m). Se empleará acero S355. Con estos datos, se saca el mínimo módulo resistente plástico que tiene que tener el perfil a emplear:

$$W_z = \frac{0.90 * 10^6 Nmm}{\frac{355}{1.05} \frac{N}{mm^2}} = 2.66 \text{ cm}^3 \quad (A.33)$$

Se toma un factor de seguridad de 2.5, por lo que se tiene,

$$W_z = 2.5 * 2.66 = 6.65 \text{ cm}^3 \quad (A.34)$$

Con este valor y mirando en el prontuario de perfiles de la empresa CONDESA se elige un perfil cuadrado 45 x 3 mm con un módulo de 7.44 cm³ y un peso de 3.77 kg/m.

A.2.4. DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA.

La barra N1-N4 es sustituida por la barra de la pared posterior. Por lo que la barandilla se compone de:

Barras horizontales: N7-N1, N8-N2, N9-N3 (con una longitud de 1285 mm)

Barras verticales: N7-N10 (con una longitud de 1400 mm), N5-N6 (con una longitud de 105mm).

La plancha tiene unas dimensiones de 1330 x 150 mm.

A.2.5. PESO DE LAS BARANDILLAS.

El peso de las barras que la conforman es:

$$P_{BARRAS} = 3.77 \frac{kg}{m} * (3 * 1.285 + 1.4 + 0.105(m)) = 20.21 \text{ kg}. \quad (A.35)$$

El peso de la plancha es:

$$P_{plancha} = 7850 \frac{kg}{m^3} * (1.33 * 0.150 * 0.003 (m^3)) = 4.7 \text{ kg}. \quad (A.36)$$

Al tener dos barandillas, el peso del conjunto es:

$$P = 2 * (20.21 + 4.7) = 49.82 \text{ kg}. \quad (A.37)$$



A.3. BASTIDOR INFERIOR.

En este apartado se procede al cálculo del bastidor inferior que es el que soporta el peso de la pared, de las barandillas, del suelo y de la carga nominal.

Como hipótesis simplificada, para realizar los cálculos, se divide la superficie del piso del montacargas (2100 x 1400 mm) en una malla de 24 cuadrados de lado 350 mm.

A.3.1. SUELO DE LA PLATAFORMA.

Para la construcción de este elemento, se ha utilizado acero S235, con un coeficiente de seguridad de 2.5.

Sobre esta plancha se situarán cargas de hasta 3000 kg. Como se dijo anteriormente la mercancía se sube al montacargas con europalet, los cuales pueden llevar cargas de hasta 1200 kg. Pero si se tiene en consideración que se pueden subir objetos que no estén en un palet y por tanto la superficie de distribución del peso es más reducida que la de los 1200 kg del palet, se considera para el estudio que un recuadro de 350 x 350 mm debe soportar una carga de 300 kg uniformemente repartida por la superficie de este.

$$q = \frac{F}{S} = \frac{300 \times 10}{0.35 \times 0.35} = 24489.79 \frac{N}{m^2} \quad (A.38)$$

Queda determinada la carga que actúa sobre un cuadrado. Queda hallar el espesor a través del módulo resistente, es decir:

$$\text{El módulo resistente es: } W = \frac{I}{\frac{h}{2}} = \frac{\frac{1}{12} b \cdot h^3}{\frac{h}{2}} = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (A.39)$$

$$\text{Además el módulo resistente es: } W = \frac{M_{max}}{\sigma_{adm}} = \frac{M_{max}}{\frac{\sigma_e}{\gamma_{seg}}} \quad (A.40)$$

Igualando ambas fórmulas y despejando el espesor de chapa h se queda:

$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot \gamma_{seg} \cdot M_{max}}{b \cdot \sigma_e}} \quad (A.41)$$

Ahora se calcula el Mmax. Sobre un cuadrado de 350 x 350 mm se ejerce una fuerza de $q = 24489.79 \frac{N}{m^2}$. Para convertir esta en una carga lineal se multiplica por un lado del cuadrado, quedando:



$$q_2 = 24489.79 * 0.35 = 8571.42 \frac{N}{m} \quad (A.42)$$

El momento al que está sometido el cuadrado se calculará como si fuera una viga biempotrada con una carga lineal uniformemente repartida por toda la longitud del cuadrado ($b = 350 \text{ mm}$).

$$M_{max} = \frac{q_2 * b^2}{12} = \frac{8571.42 * 0.350^2}{12} = 87.5 \text{ Nm} \quad (A.43)$$

Sustituyendo valores en la ecuación A.41 tenemos:

$$h = \sqrt{\frac{6 * \gamma_{seg} * M_{max}}{b * \sigma_e}} = \sqrt{\frac{6 * 2.5 * 87500 \frac{Nmm}{mm}}{350 \text{ mm} * 235 \frac{N}{mm}}} = 3.99 \approx 4 \text{ mm} \quad (A.44)$$

Por tanto el espesor de chapa a poner es de 4 mm.

A.3.2. CARGAS QUE SE EJERCEN SOBRE EL BASTIDOR INFERIOR.

Para el dimensionado de las barras se estudia el caso más desfavorable de carga.

A.3.2.1. Debida a la Pared y barandillas.

Después de diseñar la pared y las barandillas se puede calcular el peso ejercido por estas sobre el bastidor inferior. El programa CYPE (METAL 3D) proporciona las reacciones sobre la estructura de estudio, por tanto pueden obtenerse las fuerzas sobre el bastidor inferior a partir de las reacciones sobre la pared y barandillas provocadas por su propio peso.

Sobre la pared y barandillas actúan el peso propio de las barras y el peso de la plancha de acero.

Las reacciones de estas se dan en los nudos señalados en la figura A.44,

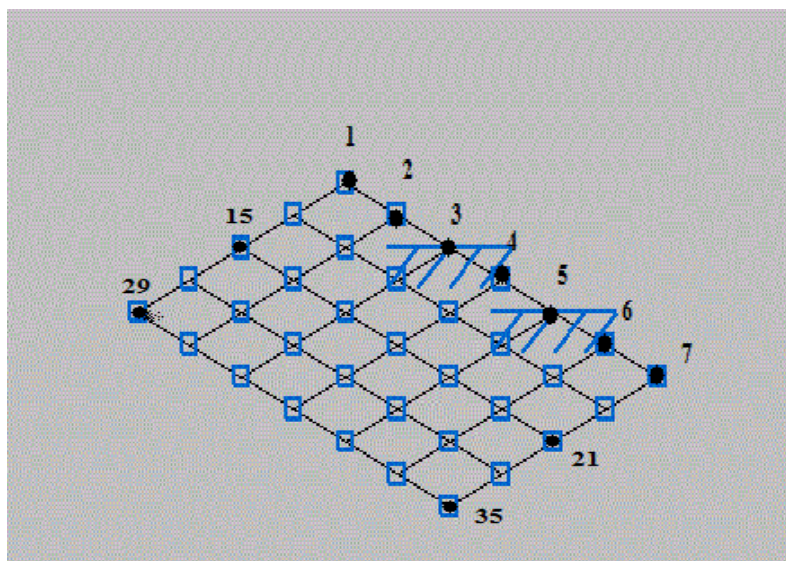


Figura A.44. Aplicación del peso de pared y barandillas.

En la tabla 3 se ven los valores de las reacciones provocadas por la pared y las dos barandillas sobre la malla del bastidor inferior.

PUNTO	FUERZA O MOMENTO					
	Rx (N)	Ry (N)	Rz (N)	Mx (Nm)	My (Nm)	Mz (Nm)
1	1	0	314	0	0	0
2	0	0	224	0	0	0
3	0	0	225	0	0	0
4	0	0	225	0	0	0
5	0	0	225	0	0	0
6	0	0	224	0	0	0
7	-1	0	314	0	0	0
15	0	0	58	0	0	0
21	0	0	58	0	0	0
29	0	0	132	0	0	0
35	0	0	132	0	0	0

Tabla 3. Peso de pared y barandillas sobre bastidor inferior.



A.3.2.2 Debidas al suelo de la plataforma.

El volumen de la plancha de acero que realiza las funciones de suelo de la plataforma es:

$$V = (2.1 \text{ m}) * (1.4 \text{ m}) * (0.004) = 0.01176 \text{ m}^3 \quad (\text{A.45})$$

La masa se obtiene multiplicando el volumen de la plancha por la densidad del acero.

$$m = 0.01176 \text{ m}^3 * 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 92.316 \text{ kg} \quad (\text{A.46})$$

Por tanto, el peso de la plancha de acero es

$$P = 92.316 \text{ kg} * 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 923.16 \text{ N} \quad (\text{A.47})$$

Este peso se considerará uniformemente repartido por las barras. Las barras del bastidor inferior tienen una longitud total de

$$L = (7 * 1.4 \text{ m}) + (5 * 2.1) = 20.3 \text{ m} \quad (\text{A.48})$$

Por tanto el peso que ejerce la plancha de acero por unidad de longitud es

$$p = \frac{P}{L} = \frac{923.16 \text{ N}}{20.3 \text{ m}} = 45.48 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (\text{A.49})$$

A.3.2.3. Debida a la carga nominal a soportar.

Según la norma EN 81-3, la carga nominal (30 KN) debe distribuirse sobre un área A_2 equivalente al 75 % del área total del piso de la plataforma. El formato y la localización de esta área debe de ser tal que se obtenga el esfuerzo menos favorable para las guías y la plataforma.

Para ello, el área A_2 debe hallarse en la esquina del piso de la plataforma más alejada del centro de la misma, tal como indica la figura A.45, donde el punto C(x, y) es el centro de gravedad del área A_2 y B es (1050, 1400) mm. Esto equivale a decir que el punto C debe estar lo más alejado posible del punto B.

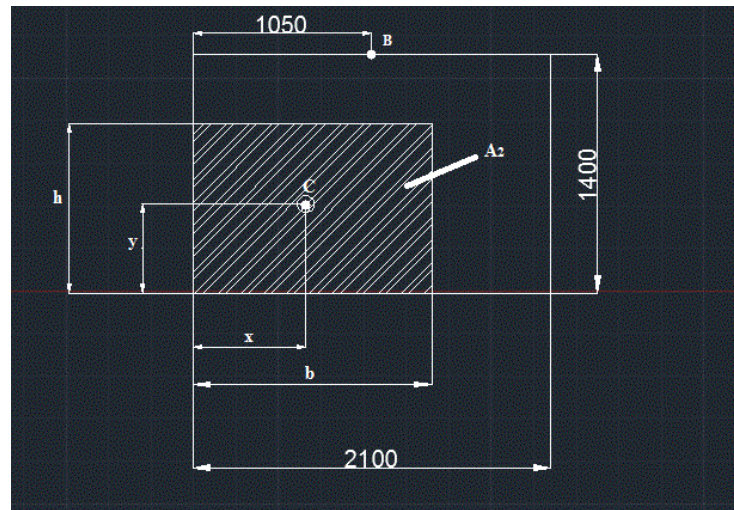


Figura A.45. Localización del área A2.

Para ello se define la función $f(x, y)$ igual al cuadrado de la distancia de $C(x, y)$ a $B(1.05, 1.4)$ m,

$$f(x, y) = (1.05 - x)^2 + (1.4 - y)^2 \quad (\text{A.50})$$

De la que se debe encontrar el máximo tal que

$$2x * 2y = 0.75 * (2.1 * 1.4) = 2.205 \text{ m}^2 \quad (\text{A.51})$$

$$y = \frac{2.205}{4x} \quad (\text{A.52})$$

Se sustituye en la función $f(x, y)$:

$$f(x, y) = (1.05 - x)^2 + \left(1.4 - \frac{2.205}{4x}\right)^2 = f(x) \quad (\text{A.53})$$

Para hallar el máximo, se deriva $f(x)$ y se iguala a 0.

$$f'(x) = -2 * (1.05 - x) + 2 * \left(1.4 - \frac{2.205}{4x}\right) * \frac{8.82}{16x^2} = 0 \quad (\text{A.54})$$

Esta ecuación tiene cuatro soluciones, dos de ellas complejas.

$$x = 0.792 \text{ m} = 792 \text{ mm}$$

$$x = 0.473 \text{ m} = 473 \text{ mm}$$

$$x = 0.685 - j0.586 \text{ m}$$

$$x = 0.685 + j0.586 \text{ m}$$



La solución válida es la primera solución ($x=792$ mm), ya que la segunda ($x=473$ mm) da unos valores que se salen de la plataforma.

Por tanto, y vale,

$$y = \frac{2.205}{4x} = \frac{2.205}{4 \cdot 0.792} = 0.696 \text{ m} = 696 \text{ mm} \quad (\text{A.55})$$

Por lo tanto, la posición del centro de gravedad del área A_2 es

$$C(792, 696)$$

Y los lados del área A_2 son (figura A.46)

$$b = 2 \cdot x = 2 \cdot 792 = 1584 \text{ mm} \quad (\text{A.56})$$

$$h = 2 \cdot y = 2 \cdot 696 = 1392 \text{ mm} \quad (\text{A.57})$$

Para realizar los cálculos, se sustituye la carga superficial sobre el área A_2 por una carga lineal sobre las barras que se encuentran bajo A_2 . (Figura A.46)

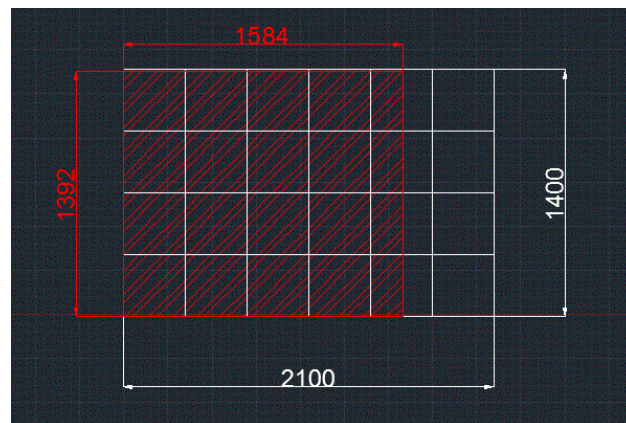


Figura A.46 Estructura de barras del bastidor inferior y área A_2 sobre la que actúa la carga nominal.

La longitud total de los tramos de las barras que quedan justo bajo el área A_2 es,

$$L = (4 \cdot 1584) + (5 \cdot 1392) = 13296 \text{ mm} \quad (\text{A.58})$$

La carga lineal sobre las barras que quedan debajo de A_2 es,

$$\text{Carga lineal} = \frac{30000 \text{ N}}{13.296 \text{ m}} = 2256.31 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (\text{A.59})$$



A.3.3. OBTENCIÓN DE LOS DIAGRAMAS.

Para la obtención de los diagramas se utiliza el programa CYPE, concretamente la aplicación METAL 3D. Los pasos a realizar son:

Se dibuja la malla de la estructura (Figura A.47):

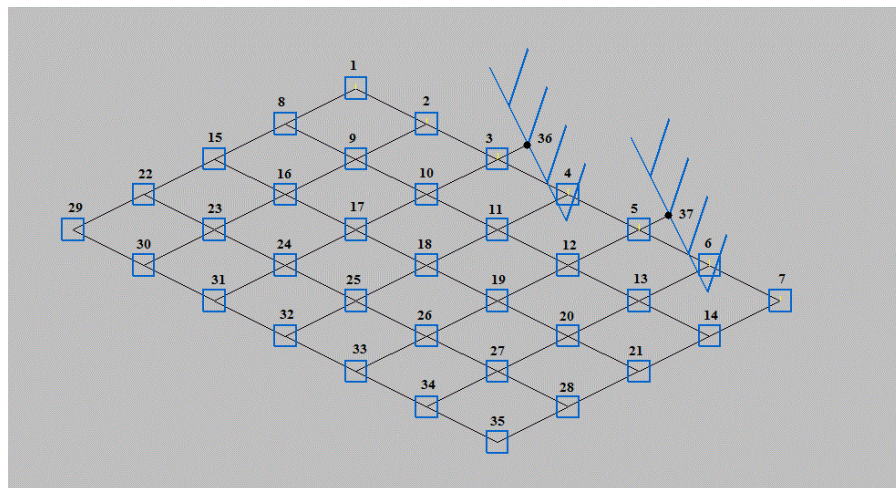


Figura A.47. Esquema de la estructura en METAL 3D

Se introduce las cargas que actúan sobre el bastidor inferior calculadas anteriormente.

-En la figura A.48 se muestran las fuerzas generadas por el peso del suelo:

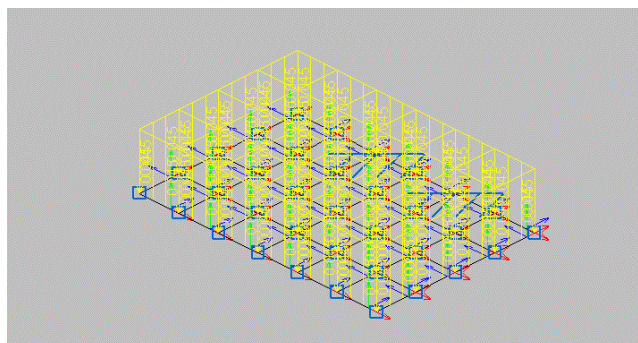


Figura A.48. Peso del suelo sobre el bastidor.

-En la figura A.49 se muestran las fuerzas generadas por la carga nominal:

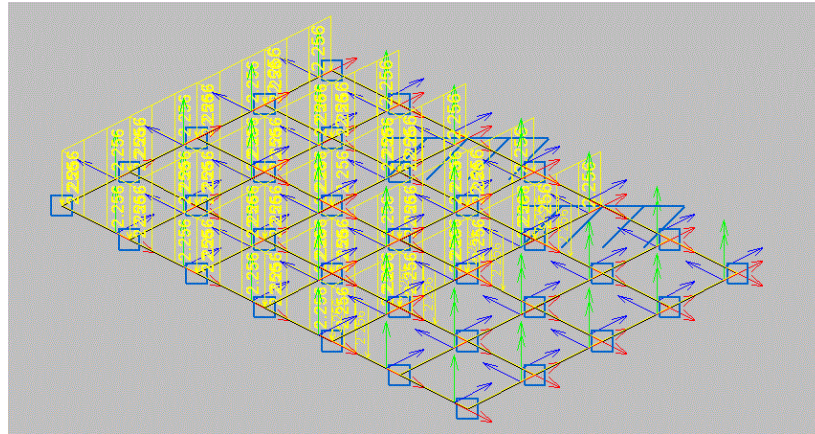


Figura A.49. Carga nominal sobre el bastidor inferior.

n

En la figura A.50 se muestran las fuerzas generadas por el peso de la pared y las dos barandillas:

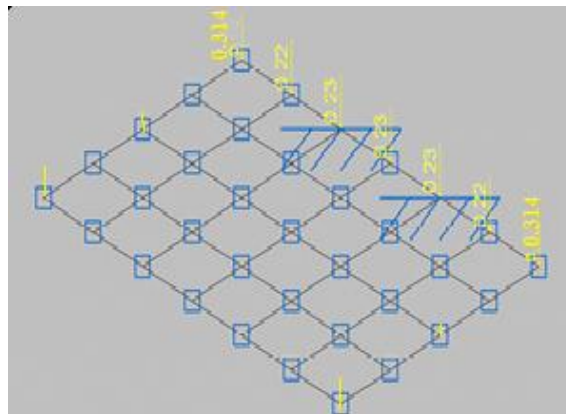


Figura A.50. Peso de la pared sobre el bastidor inferior.

Una vez se han introducido todas las cargas, se obtienen los diagramas y se estudian las barras más solicitadas.

Tras una intensiva búsqueda de patrones de plataformas de montacargas se ha optado por poner tres tipos de barras, siendo:

-Barra N36 a N31 y Barra N37 a N33 serán del mismo tipo.

-Barra N1 a N7 será toda del mismo tipo.

-Resto de barras serán todas iguales.



Diagramas obtenidos:

Diagrama de axiles: No tiene.

Diagrama de cortante y: No tiene.

Diagrama de cortante z:

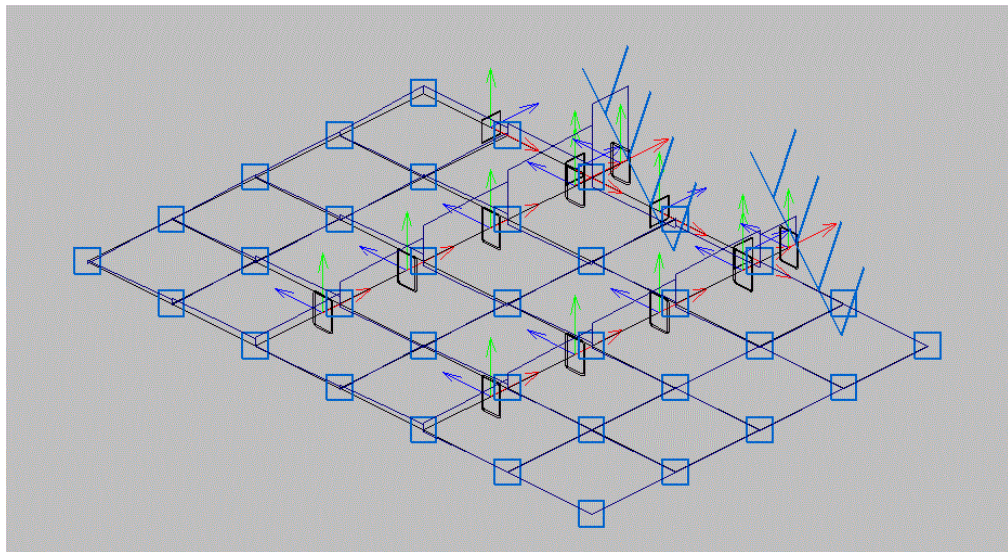


Figura A.51: Vista de diagrama de V_z en las barras.

Diagrama de momento en y:

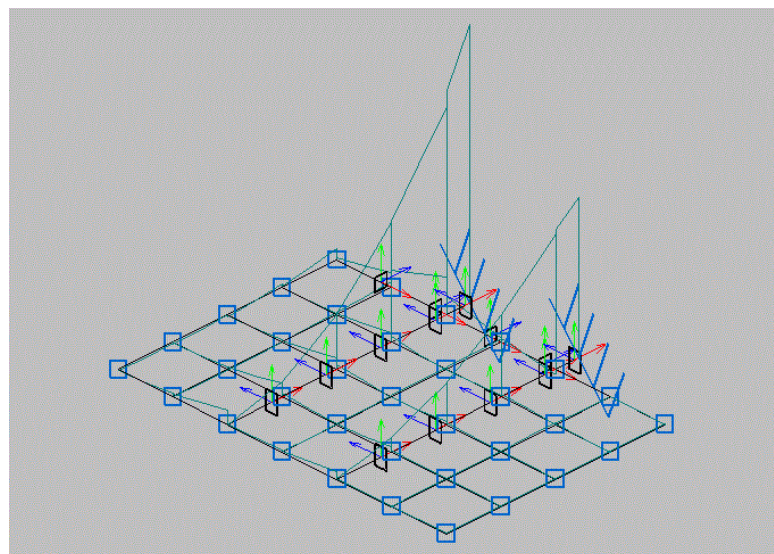


Figura A.52: Vista de diagramas de momento en y.

Diagrama de momento en z: No tiene.

Diagrama de momento torsor:

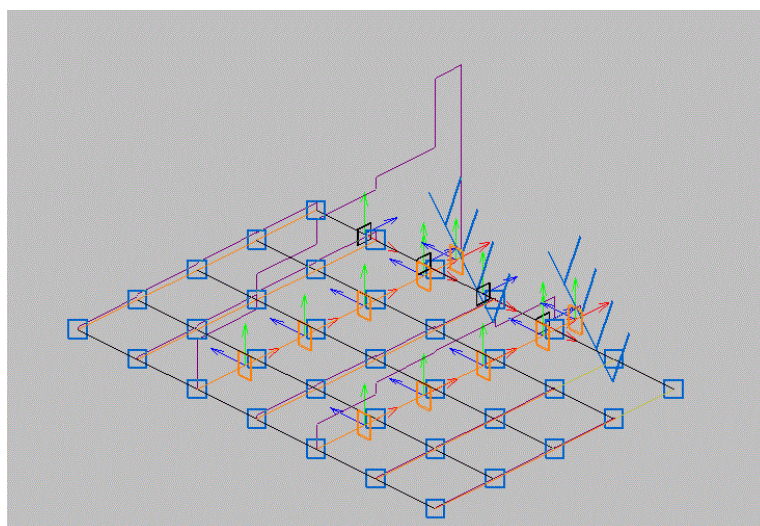


Figura A.53. Diagrama de momento torsor.

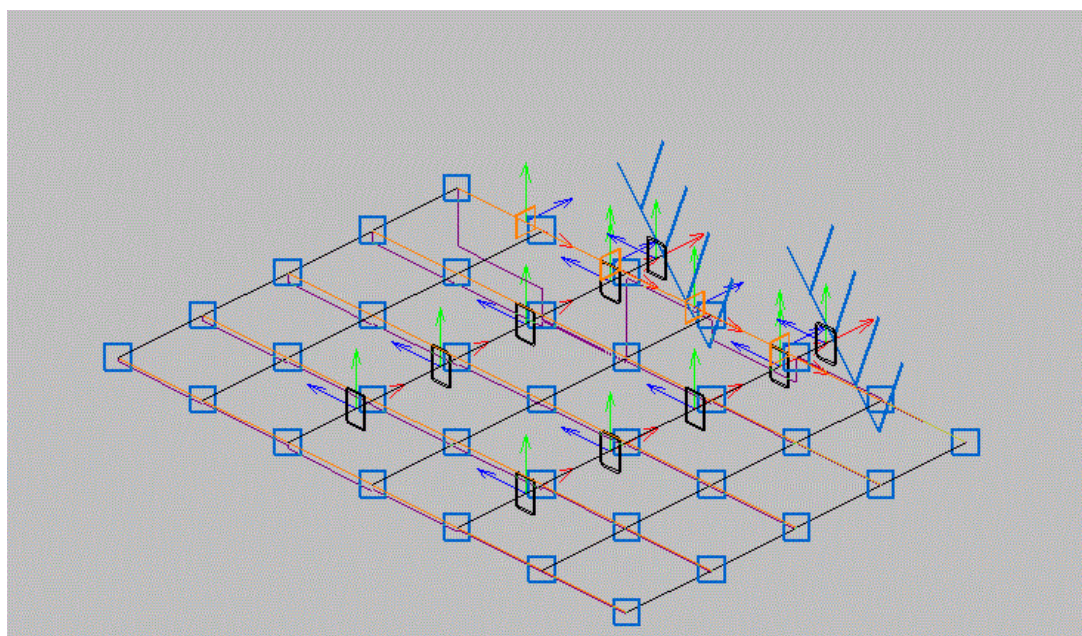


Figura A.54. Diagrama de momento torsor.



A.3.4. ELECCIÓN DE LAS BARRAS DE ESTUDIO.

Viendo los diagramas de esfuerzos se ha de establecer cuales son las tres zonas más solicitadas para los tres tipos de perfiles que se van a utilizar.

Las barras a estudiar son:

- Barra N36 a N31 ya que en ella se dan esfuerzos más grandes que en la barra N5 a N33.
- Barra N2 a N3.
- Barra N30 a 31.

A.3.5. DIMENSIONADO DE BARRAS Y COMPROBACIONES.

A.3.5.1. Barra N36 a N31.

Se trabajarán con los datos que aparecen en los diagramas.

A.3.5.1.1 Diagramas.

Diagrama de cortante en z:

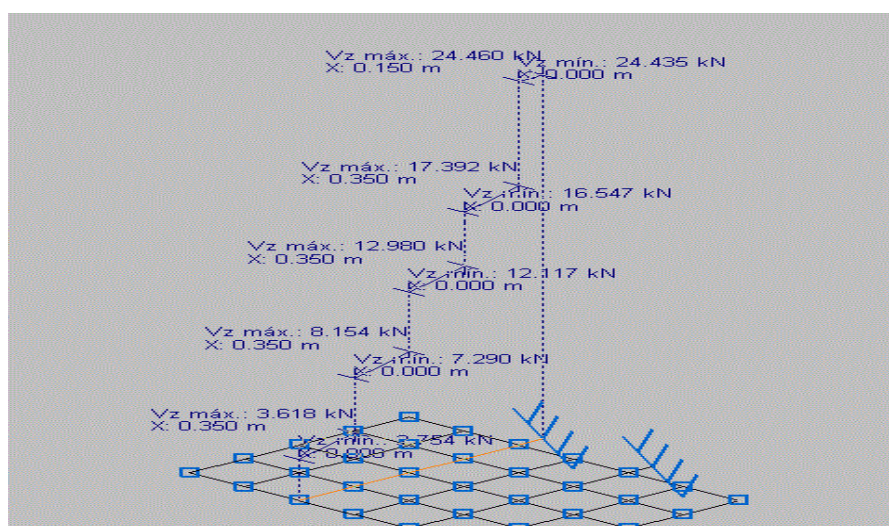


Figura A.55. Diagrama de cortante Vz.

Diagrama de momento en y:

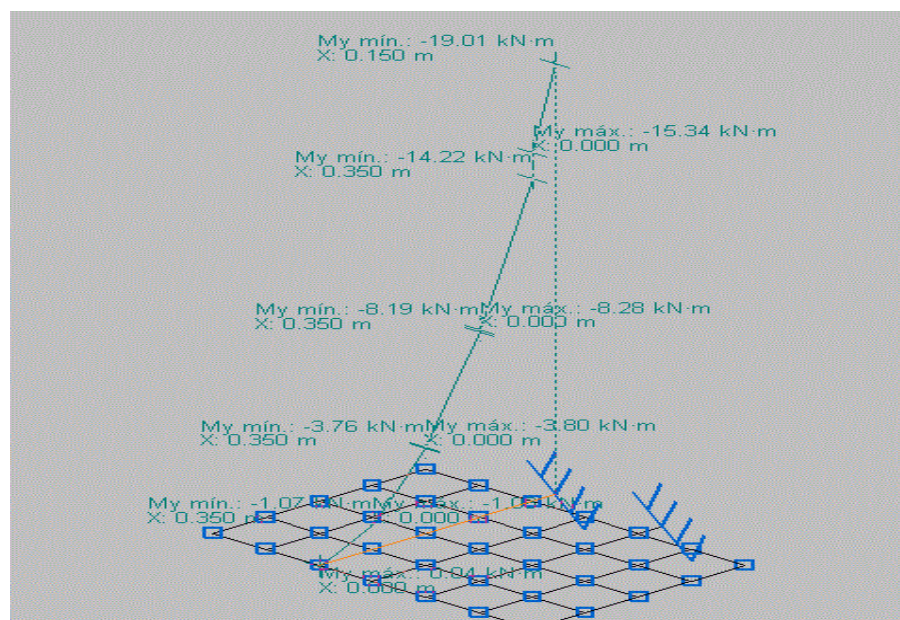


Figura A.56. Diagrama de momento M_y .

Diagrama de momento torsor:

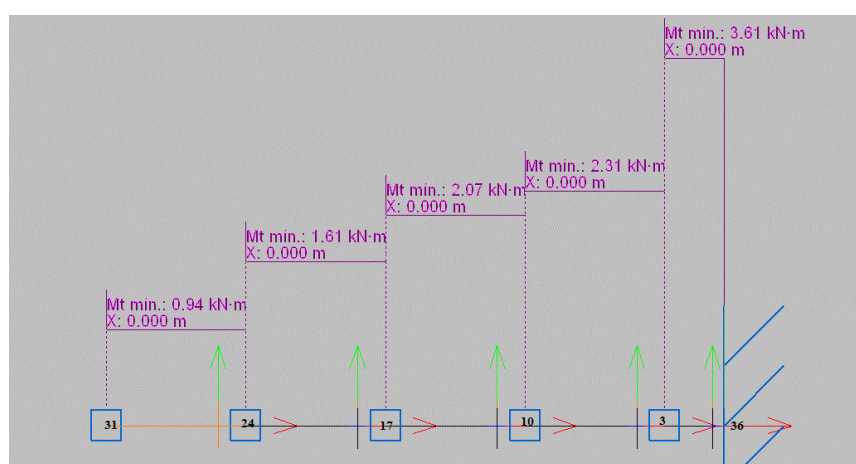


Figura A.57. Diagrama momento torsor.



A.3.5.1.2. Predimensionado.

Partiendo de la fórmula del momento flector:

$M = W * f_{yd}$, donde W es el módulo resistente plástico y f_{yd} es la resistencia de cálculo del acero.

Buscando en los diagramas de la barra, se obtienen los momentos flectores en Z e Y máximos:

$$M_{y \max} = 19.01 \text{ KN m} \quad (\text{A.60})$$

$$M_{z \max} = 0 \quad (\text{A.61})$$

Como la barra no tiene momento en Z se trabajará con el momento en Y . Ahora se procede a la búsqueda del mínimo módulo resistente plástico en Y que tiene que tener la barra. Se utilizará un acero de tipo S355.

$$M_y = W_y * f_{yd} \rightarrow W_y = \frac{M_{y \max}}{f_{yd}} = \frac{19.01 * 10^6 \text{ N mm}}{\frac{355 \text{ N}}{1.05 \text{ mm}^2}} = 56.23 \text{ cm}^3 \quad (\text{A.62})$$

Como la norma seguida por los montacargas obliga a usar un factor de seguridad de 2.5, se usará para mayorar el módulo resistente.

Por tanto el módulo resistente mayorado es:

$$W_y = 2.5 * 56.23 \text{ cm}^3 = 140.58 \text{ cm}^3 \quad (\text{A.63})$$

Una vez obtenido este dato, se irá a las tablas de perfiles rectangulares para buscar un perfil cuyo $W_y > 140.58 \text{ cm}^3$.

El perfil elegido es: Perfil rectangular 140 x 100 x 8 mm, cuyo módulo resistente plástico es 152 cm^3 .

Perfil: RECTANGULAR 140 x 100 x 8
Material: Acero (S355)

NUDOS		LONGITUD (m)	Características mecánicas			
INICIAL	FINAL		Área (cm ²)	I _y (cm ⁴)	I _z (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
36	31	1,6	33.6	848	502	1089

Las características del perfil escogido se observan en la siguiente tabla:

Tabla 4



A.3.5.1.3. Comprobaciones E.L.U.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.37}$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N36.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{19.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{51.39} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{152} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{MO}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.06}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N36.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{24.46} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{387.28} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{19.84} \text{ cm}^2$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{124} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$



γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.11}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·G.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{3.61} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{32.79} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{168} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.07}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N36, para la combinación de acciones 1.35·G.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{24.46} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{3.61} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{344.64} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{387.28} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{21.49} \text{ MPa}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{168} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

A.3.5.2. Barra N2 a N3.

Se trabajarán con los datos que aparecen en los diagramas.

A.3.5.2.1 Diagramas.

Diagrama de cortante en z:

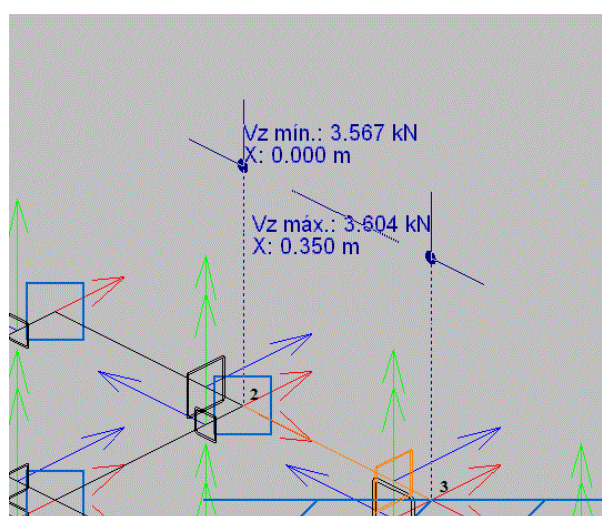


Figura A.58. Diagrama de cortante Vz.

Diagrama de momento en y:

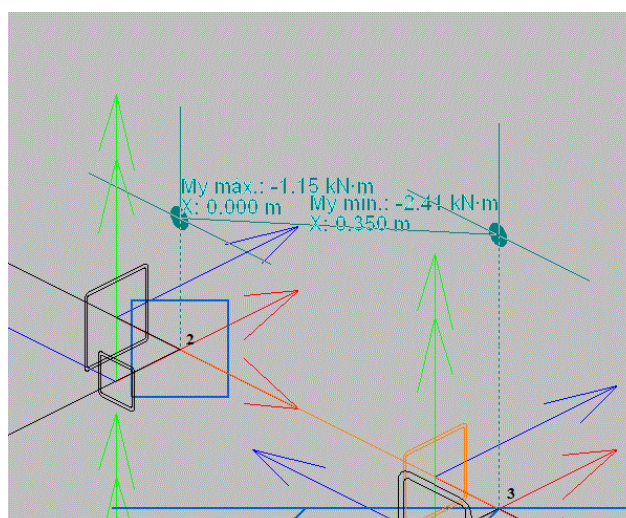


Figura A.59. Diagrama de momento My.

Diagrama de momento torsor:

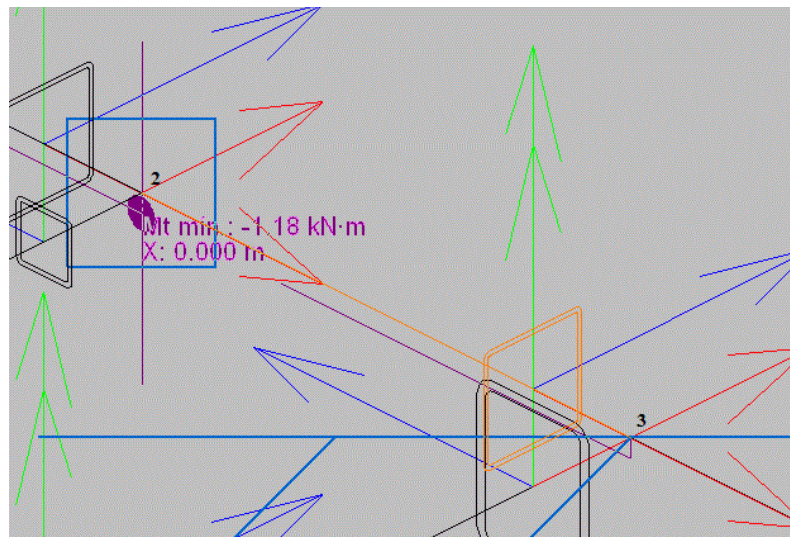


Figura A.60. Diagrama de momento torsor.

A.3.5.2.2. Predimensionado.

Partiendo de la fórmula del momento flector:

$M = W * f_{yd}$, donde W es el módulo resistente plástico y f_{yd} es la resistencia de cálculo del acero.

Buscando en los diagramas de la barra, se obtienen los momentos flectores en Z e Y máximos:

$$M_{y\max} = 2.41 \text{ KN m} \quad (\text{A.64})$$

$$M_{z\max} = 0 \quad (\text{A.65})$$

Como la barra no tiene momento en z se trabajará con el momento en y . Ahora se procede a la búsqueda del mínimo módulo resistente plástico en y que tiene que tener la barra. Se trabajará con un acero de tipo S355.

$$M_y = W_y * f_{yd} \rightarrow W_y = \frac{M_{y\max}}{f_{yd}} = \frac{2.41 * 10^6 \text{ N mm}}{\frac{355 \text{ N}}{1.05 \text{ mm}^2}} = 7.13 \text{ cm}^3 \quad (\text{A.66})$$

Como la norma seguida por los montacargas obliga a usar un factor de seguridad de 2.5, se usará para mayorar el módulo resistente plástico.



Por tanto el módulo resistente plástico mayorado es:

$$W_y = 2.5 * 7.13 \text{ cm}^3 = 17.825 \text{ cm}^3 \quad (\text{A.67})$$

Una vez obtenido este dato, se irá a las tablas para buscar un perfil cuyo $W_y > 17.825 \text{ cm}^3$.

En la tabla de perfiles hay muchos perfiles que cumplen tanto cuadrados como rectangulares pero en este caso además de que cumpla con el requisito del modulo plástico resistente tiene que tener la condición de que su ancho sea como mínimo de 70 mm para poder soldar las barras de la estructura de la pared.

El perfil seleccionado es: Perfil cuadrado 80 x 2.5 mm, cuyo módulo resistente plástico es 21.9 cm^3 .

Las características del perfil escogido se observan en la siguiente tabla:

Perfil: CUADRADO 80 x 2.5
Material: Acero (S355)

NUDOS		LONGITUD (m)	Características mecánicas			
INICIAL	FINAL		Area (cm ²)	I _y (cm ⁴)	I _z (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
2	3	0.35	7.59	75.1	75.1	119

Tabla 5

A.3.5.2.3. Comprobaciones E.L.U.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{\underline{0.33}}$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{\underline{0.00}} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{\underline{2.41}} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{\underline{7.4}} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y}$: 21.9 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 338.1 MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 355.0 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.065}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 3.604 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$V_{c,Rd}$: 73.2 kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. A_v : 3.75 cm²

Siendo:

d : Altura del alma. d : 75 mm

t_w : Espesor del alma. t_w : 2.5 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 338.1 MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 355.0 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 3.604 \leq 36.6$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 3.604 kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: 73.2 kN



Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.304}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{T,Ed}} : \underline{1.18} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo **$M_{T,Rd}$** viene dado por:

$$\mathbf{M_{T,Rd}} : \underline{5.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$\mathbf{W_T} : \underline{28.2} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M0}} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.063}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{V_{Ed}} : \underline{3.604} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{T,Ed}} : \underline{1.18} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **$V_{pl,T,Rd}$** viene dado por:

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} : \underline{57.51} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$\mathbf{V_{pl,Rd}} : \underline{73.2} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\mathbf{\tau_{T,Ed}} : \underline{41.84} \text{ MPa}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$\mathbf{W_T} : \underline{28.2} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M0}} : \underline{1.05}$$

A.3.5.3. Barra N30 a N31.

Se trabajarán con los datos que aparecen en los diagramas.

A.3.5.3.1 Diagramas.

Diagrama de cortante en z:

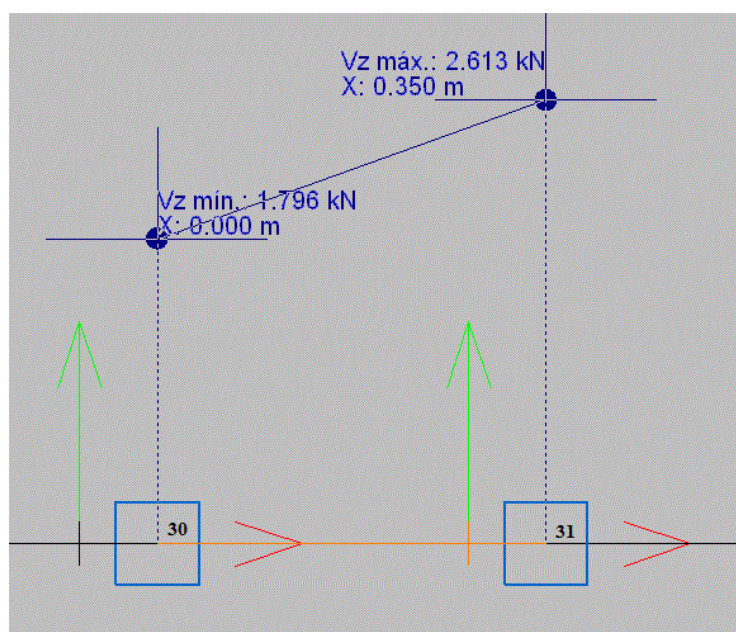


Figura A.61. Diagrama de cortante V_z .

Diagrama de momento en y:

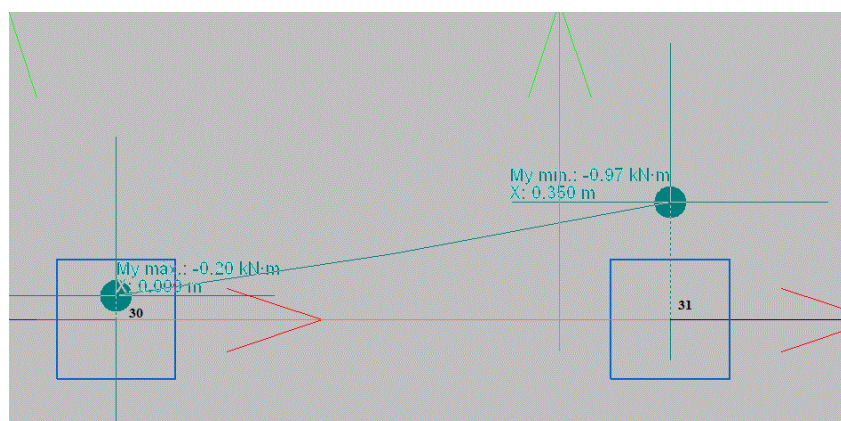


Figura A.62. Diagrama de momento M_y .



Diagrama de momento torsor:

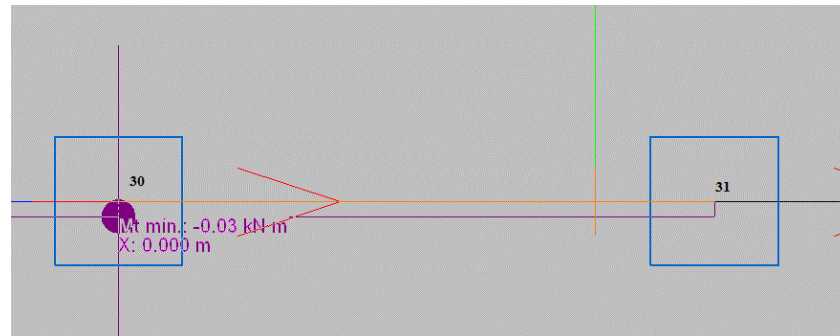


Figura A.63. Diagrama de momento torsor.

A.3.5.3.2. Predimensionado.

Partiendo de la fórmula del momento flector:

$M = W * f_{yd}$, donde W es el módulo resistente plástico y f_{yd} es la resistencia de cálculo del acero.

Buscando en los diagramas de la barra, se obtienen los momentos flectores en Z e Y máximos:

$$M_{y \max} = 0.97 \text{ KN m} \quad (\text{A.68})$$

$$M_{z \max} = 0 \quad (\text{A.69})$$

Como la barra no tiene momento en Z se trabajará con el momento en Y . Ahora se procede a la búsqueda del mínimo módulo resistente plástico en Y que tiene que tener la barra. Se trabajará con un acero de tipo S355.

$$M_y = W_y * f_{yd} \rightarrow W_y = \frac{M_{y \max}}{f_{yd}} = \frac{0.97 * 10^6 \text{ N mm}}{\frac{355 \text{ N}}{1.05 \text{ mm}^2}} = 2.87 \text{ cm}^3 \quad (\text{A.70})$$

Como la norma seguida por los montacargas obliga a usar un factor de seguridad de 2.5, se usará para mayorar el módulo resistente plástico.

Por tanto el módulo resistente plástico mayorado es:

$$W_y = 2.5 * 2.87 \text{ cm}^3 = 7.18 \text{ cm}^3 \quad (\text{A.71})$$

Una vez obtenido este dato, se irá a las tablas de perfiles cuadrados para buscar un perfil cuyo $W_y > 7.18 \text{ cm}^3$.



El perfil seleccionado es: Perfil cuadrado 50 x 2.5 mm, cuyo módulo resistente plástico es 8.07 cm^3 .

Las características del perfil escogido se observan en la siguiente tabla:

Perfil: CUADRADO 50 x 2.5
Material: Acero (S355)

NUDOS		LONGITUD (m)	Características mecánicas			
INICIAL	FINAL		Area (cm ²)	I _y (cm ⁴)	I _z (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
30	31	0.35	4.59	16.9	16.9	27.5

Tabla 6

A.3.5.3.3. Comprobaciones E.L.U.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.36}$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.97} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{2.73} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{8.07} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$



Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.06}$$

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.61} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{43.92} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.25} \text{ cm}^2$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{45} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{2.5} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ Mpa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355} \text{ Mpa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.02}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo **M_{T,Rd}** viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{1.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{10.2} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.06}$$

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.61} \text{ kN}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{43.26 \text{ kN}}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{43.92 \text{ kN}}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{2.94 \text{ Mpa}}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{10.2 \text{ cm}^3}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1 \text{ Mpa}}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0 \text{ Mpa}}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

A.3.6. DIMENSIONES DEFINITIVAS DE LA ESTRUCTURA.

Viendo que todas las comprobaciones a estado límite último han salido favorables, las dimensiones del bastidor inferior serán las siguientes:

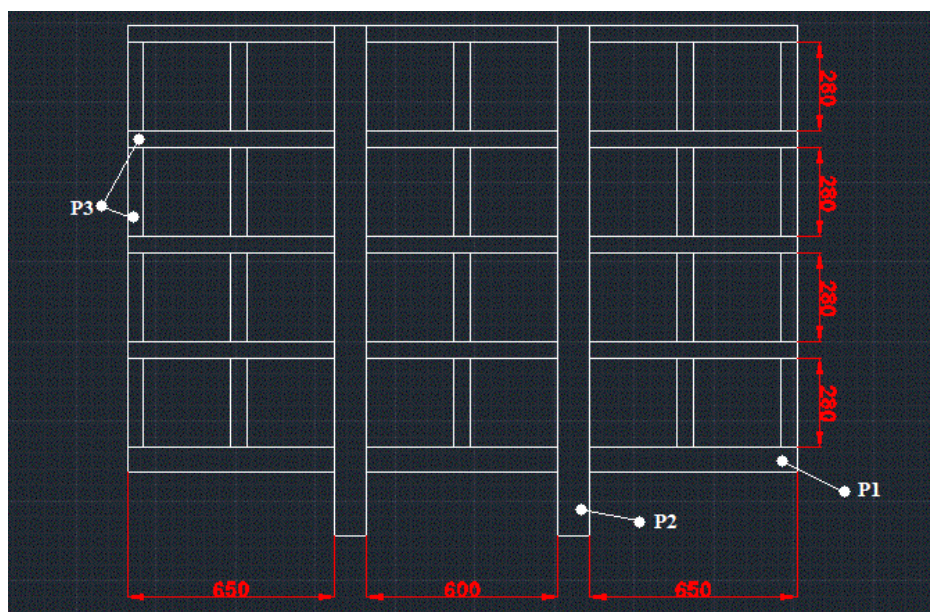


Figura A.64. Bastidor inferior.

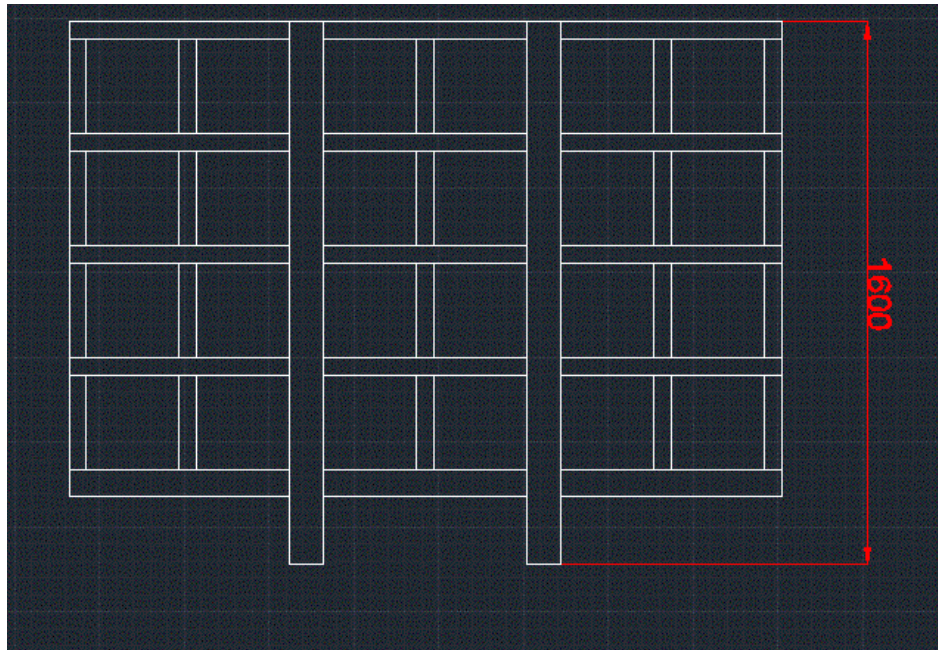


Figura A.65. Bastidor inferior.

Siendo los perfiles:

P1: Perfil cuadrado 80 x 2.5 mm.

P2: Perfil rectangular 140 x 100 x 8 mm. P3:

Perfil cuadrado 50 x 2.5 mm.

A.3.7. PESO DE LA ESTRUCTURA.

A.3.7.1. Peso de las barras.

Peso de las barras de perfil 80 x 2.5 mm:

Según la tabla de perfiles seguida tienen un masa por unidad de longitud de 5.96 kg / m.

El peso de una barra de 650 mm de longitud es:

$$P_{650} = 5.96 \frac{kg}{m} * 0.650 m = 3.874 kg \quad (A.72)$$

El peso de una barra de 600 mm de longitud es:

$$P_{600} = 5.96 \frac{kg}{m} * 0.600 m = 3.576 kg \quad (A.73)$$



El peso de los perfiles de 80 x 2.5 es:

$$P_{P80} = (2 * P_{650}) + P_{600} = 11.324 \text{ kg} \quad (\text{A.74})$$

Peso de las barras de perfil 50 x 2.5 mm:

Según la tabla de perfiles seguida tienen un masa por unidad de longitud de 3.6 kg / m.

El peso de una barra de 280 mm de longitud es:

$$P_{280} = 3.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 0.280 \text{ m} = 1.008 \text{ kg} \quad (\text{A.75})$$

El peso de una barra de 650 mm de longitud es:

$$P_{650} = 3.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 0.650 \text{ m} = 2.34 \text{ kg} \quad (\text{A.76})$$

El peso de una barra de 600 mm de longitud es:

$$P_{600} = 3.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 0.600 \text{ m} = 2.16 \text{ kg} \quad (\text{A.77})$$

El peso de los perfiles de 50 x 2.5 es:

$$P_{P50} = (20 * P_{280}) + (8 * P_{650}) + (4 * P_{600}) = 47.52 \text{ kg} \quad (\text{A.78})$$

Peso de las barras de perfil 140 x 100 x 8 mm:

Según la tabla de perfiles seguida tienen un masa por unidad de longitud de 26.4 kg / m.

El peso de una barra de 1600 mm de longitud es:

$$P_{1600} = 26.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 1.6 \text{ m} = 42.24 \text{ kg} \quad (\text{A.79})$$

El peso de los perfiles de 140 x 100 x 8 es:

$$P_{P140} = 2 * P_{1600} = 84.48 \text{ kg} \quad (\text{A.80})$$



Peso del conjunto de todas las barras:

El peso de todas las barras es:

$$P_b = P_{P80} + P_{P50} + P_{P140} = 11.324 + 47.52 + 84.48 = 143.324 \text{ kg (A.81)}$$

A.3.7.2. Peso de las plancha de acero.

El peso de la plancha de acero es:

$$P_p = 92.316 \text{ kg} \quad (\text{A.82})$$

A.3.7.3. Peso total.

El peso total sale del resultado de sumar el peso de las barras y el peso de la plancha de acero.

$$P_T = P_p + P_b = 92.316 \text{ kg} + 143.324 \text{ kg} = 235.64 \text{ kg} \quad (\text{A.83})$$



A.4. CÁLCULO DEL BASTIDOR POSTERIOR

A.4.1. INTRODUCCIÓN.

En este apartado se procede al cálculo del bastidor posterior, cuya labor consiste en guiar a la plataforma y soportar la fuerza generada por el pistón en la elevación.

A.4.2. HIPÓTESIS DE PARTIDA.

Para el cálculo del bastidor posterior se ha seguido el siguiente esquema (ver figuras A.66.),

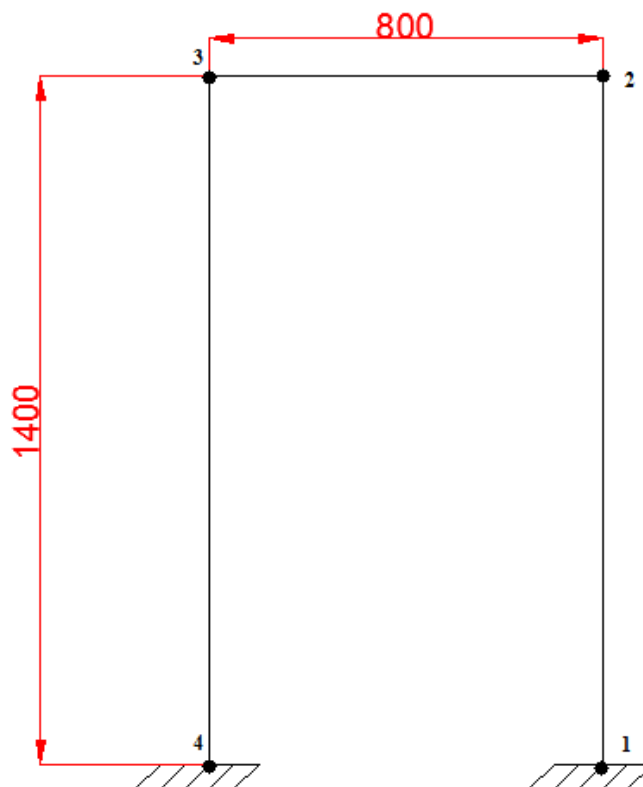


Figura A.66. Vista en perspectiva



Se utilizarán dos tipos de barras:

- 1) Para las dos barras verticales (N1-N2) y (N3-N4).
- 2) Para la barra horizontal (N2-N3).

Las cargas que la estructura tiene que soportar son:

Entre el nudo 2 y el nudo 3 ira enganchado mediante una placa la cabeza del pistón para la elevación de la plataforma. Por tanto esta barra debe soportar la fuerza que se genere al levantar la plataforma.

Para el guiado de la cabina se emplean cuatro guideras, dos situadas en el bastidor inferior y otras dos en el bastidor posterior, concretamente entre las barras N1-N2 y N3-N4. Sobre las guideras se originan unos momentos, debidos al peso de la estructura y la carga nominal.

A.4.3. CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA.

A.4.3.1. Debidas al empuje del pistón.

El pistón tiene que levantar un peso que está compuesto por la masa del conjunto pared-barandillas-bastidor inferior y bastidor posterior, además de la carga nominal de 3000 kg.

El peso del conjunto de la plataforma es:

$$P_{plat} = P_{pared} + P_{baran} + P_{Bast\ inf} + P_{Bast\ post} = 140.063 + 49.82 + 235.64 + 99.477 = 525\ kg$$

(A.84)

El peso del bastidor posterior ha debido suponerse por el momento, y se ha supuesto un valor tal que el peso del conjunto de la plataforma sea de 525 kg. En este se incluyen además el peso de los accesorios en la plataforma como las guideras.)

Por tanto el peso que soporta el pistón es:

$$P = 3000 + 525 = 3525\ kg = 35.25\ kN \quad (A.85)$$

Este empuje se aplica sobre la mitad de la barra N3-N2. La fuerza aplicada sobre la estructura se ve en la figura A.67,

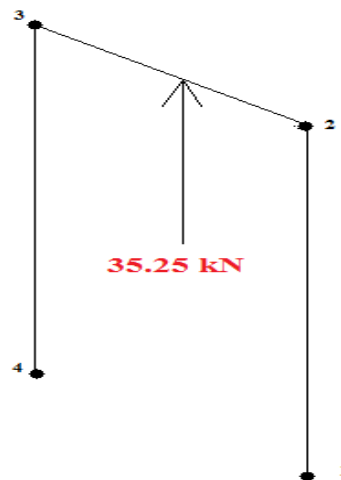


Figura A.67. Fuerza ejercida por el pistón.

A.4.3.2. Debidas al guiado de la plataforma.

Las rozaderas que llevan el bastidor inferior y el bastidor posterior hacen que la plataforma, en el proceso de elevación, siga una trayectoria fija y no se salga de su trayectoria. Las solicitaciones a las que las rozaderas someten a la estructura son unos momentos generados por el peso de la plataforma y la carga nominal.

Con ayuda del programa CYPE se obtienen las reacciones en los puntos donde irán situadas las rozaderas del bastidor inferior.

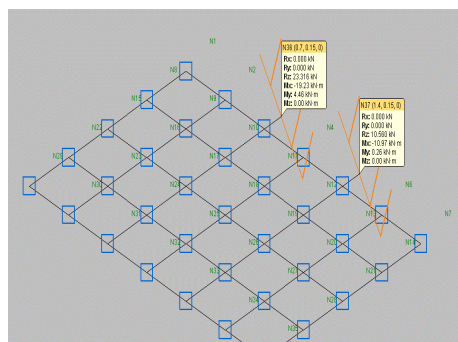


Figura.A.68.Reacciones

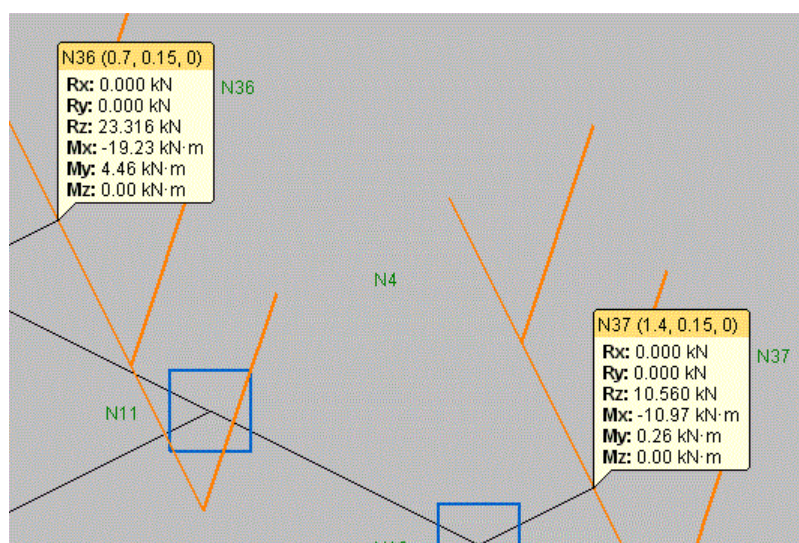


Figura A.69. Valores de las reacciones.

Los valores de las reacciones no son idénticos puesto que como se ha mencionado antes, por norma la carga nominal se supone distribuida en el 75% del área total de la plataforma.

Las reacciones que observamos en la figura A.69 son las generadas por todo el conjunto a elevar. Al tener 4 rozaderas, dos a cada lado, los valores a los que está sometida cada una, serán la mitad de los que se observa en la imagen.

Los momentos generados por las rozaderas para el bastidor posterior son los que se observan en la figura A.71,

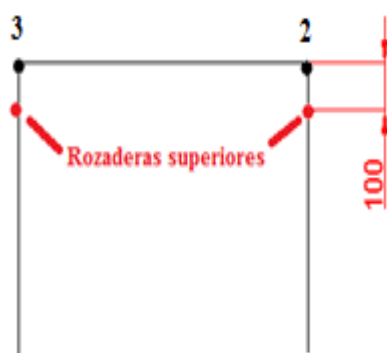


Figura A.70. Posición de las rozaderas

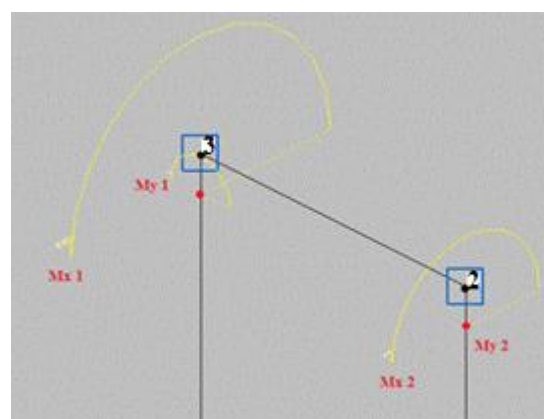


Figura A.71. Reacciones en las rozaderas.



Donde los valores de estos momentos son:

$$Mx\ 1 = 9.615\ kN\ m \quad (A.86)$$

$$My\ 1 = 2.23\ kN\ m \quad (A.87)$$

$$Mx\ 2 = 5.485\ kN\ m \quad (A.88)$$

$$My\ 2 = 0.13\ kN\ m \quad (A.89)$$

Una vez determinadas las cargas que soporta la estructura, el siguiente paso es el cálculo de los diagramas de esfuerzos.

A.4.4. ELECCIÓN DE LAS BARRAS A ESTUDIO.

A.4.4.1. Diagramas de esfuerzos.

Los diagramas están obtenidos a través del programa CYPE. En este apartado se mostrarán los diferentes diagramas de esfuerzos que posee la estructura de modo que se puedan hallar las barras más solicitadas.

Diagrama de axiles:

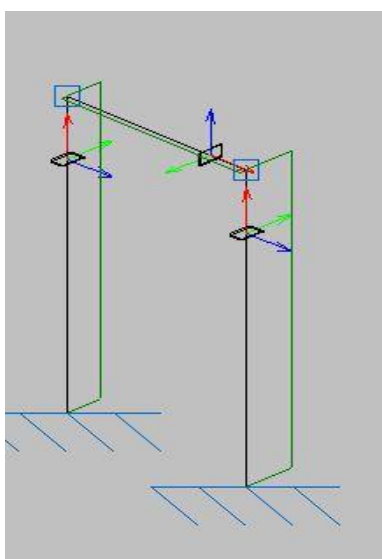


Figura A.72. Diagramas de axiles.



Diagrama de cortante V_y :

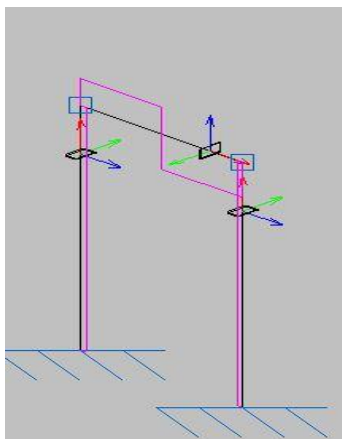


Figura A.73. Diagramas cortante V_y .

Diagrama de cortante V_z :

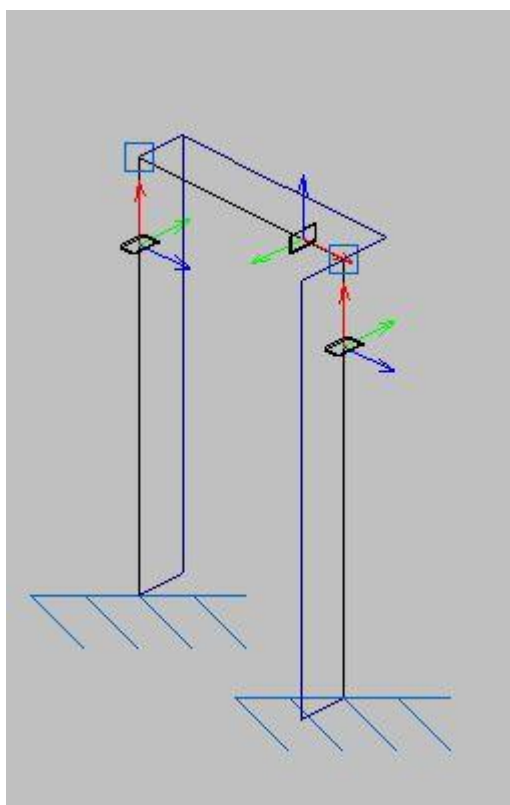


Figura A.74. Diagramas de cortante V_z .



Diagrama de momento torsor:

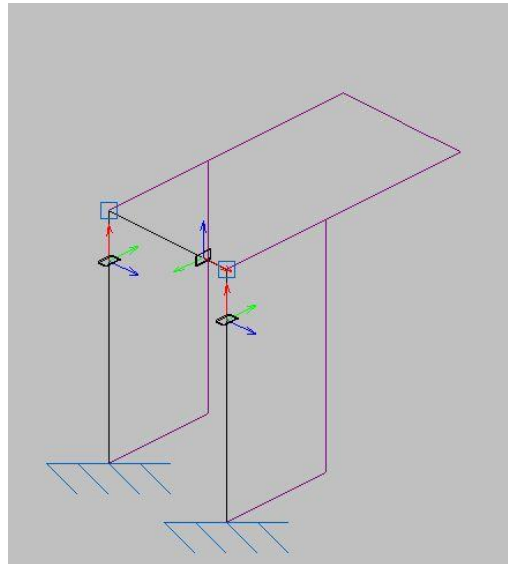


Figura A.75. Diagramas de momento torsor.

Diagrama de momento M_y :

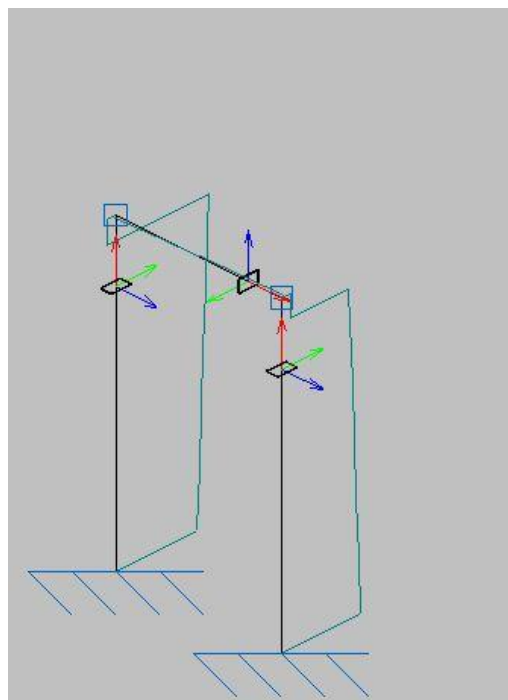


Figura A.76. Diagramas de momento M_y .

Diagrama de momento M_z :

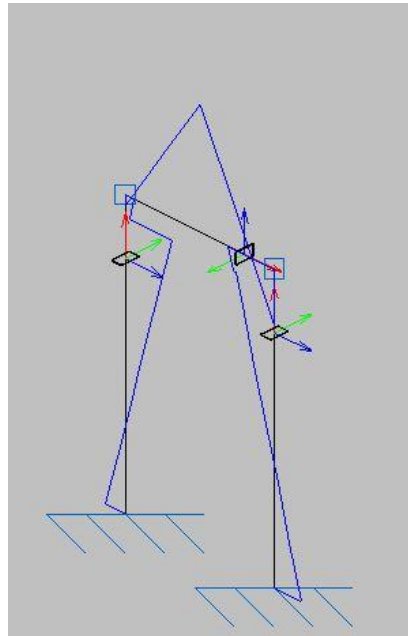


Figura A.77. Diagramas de momento M_z .

A.4.4.2. Barras más solicitadas.

Como se vio en el apartado A.3.2, se van a utilizar 2 tipos de barras, por lo que las barras a estudio serán aquellas donde se presenten los mayores esfuerzos.

Barra tipo 1:

Observando los diagramas de esfuerzos de las barras N1-N2 y N3-N4 se observa que es en esta última donde se tiene mayor momento en Y, mayor axil, y en general mayores esfuerzos.

La barra a estudiar es N3-N4.

Barra tipo 2:

La otra barra a estudiar es la horizontal N2-N3.



A.4.5. DIMENSIONADO DE BARRAS.

A.4.5.1 Barra N3-N4.

Diagramas de esfuerzos.

Diagrama de axiles:

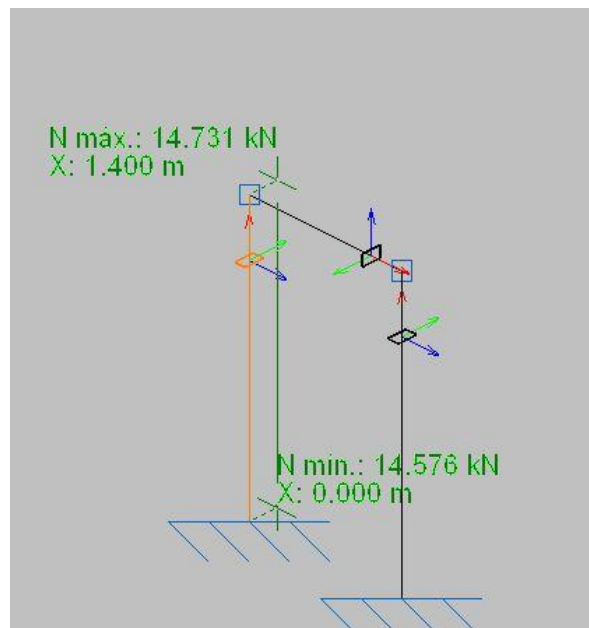


Figura A.78. Diagrama de axiles.

Diagrama de cortante V_y :

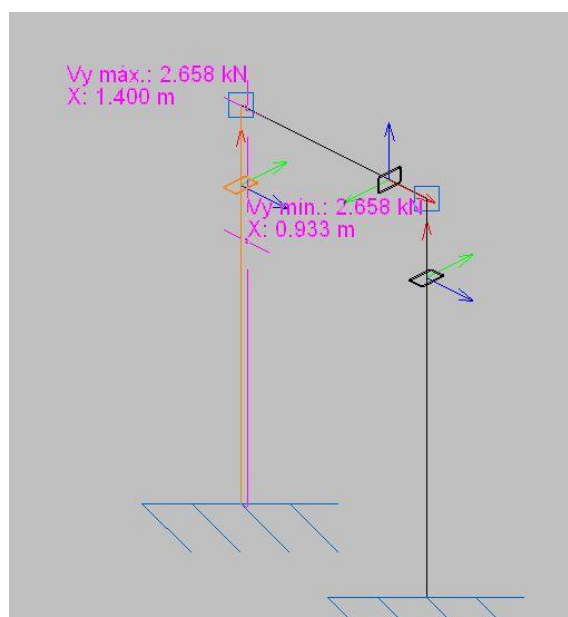


Figura A.79. Diagrama de cortante V_y .

Diagrama de cortante V_z :

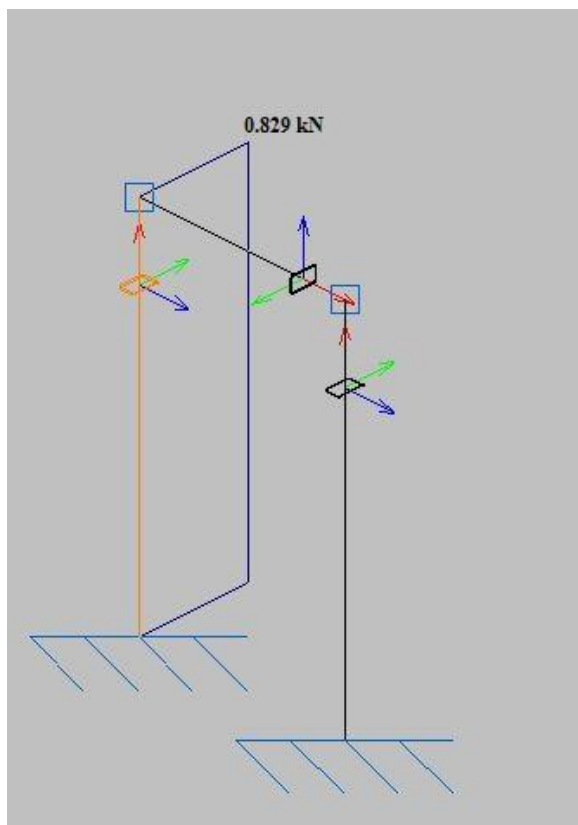


Figura A.80. Diagrama de cortante V_z .

Diagrama de momento torsor:

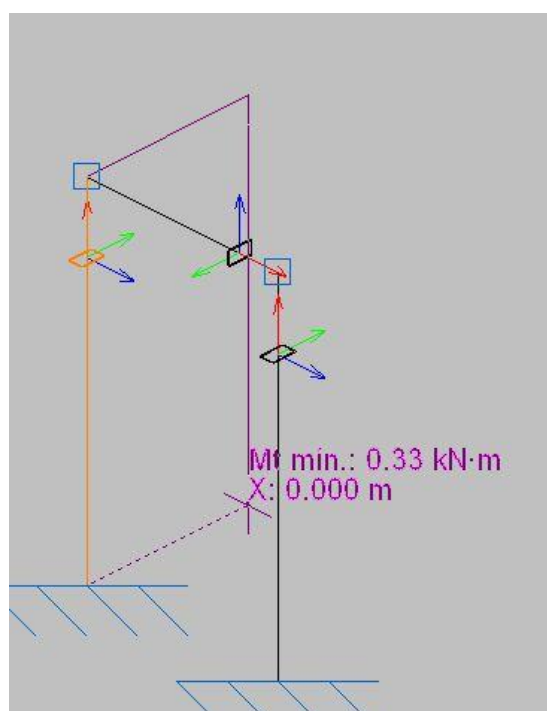


Figura A.81. Diagrama de momento torsor.



Diagrama de momento M_y :

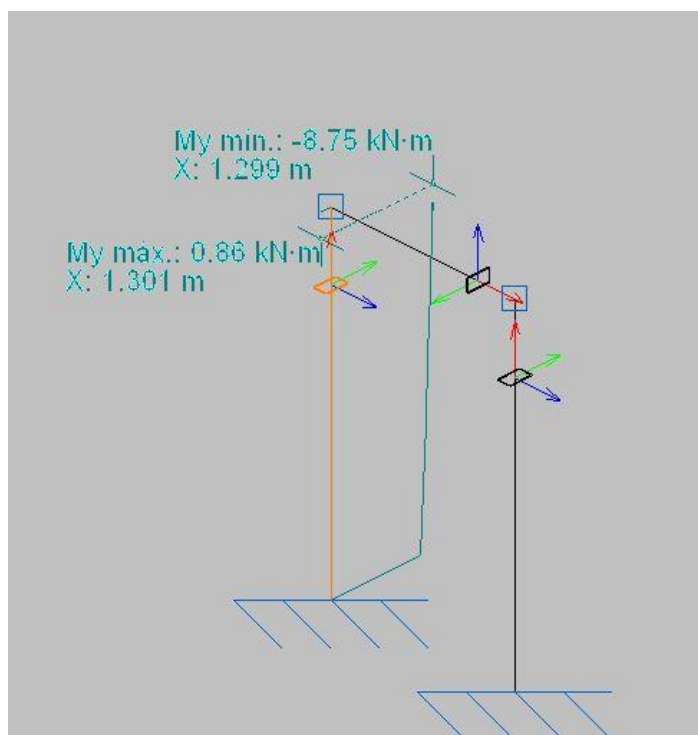


Figura A.82. Diagrama de momento M_y .

Diagrama de momento M_z :

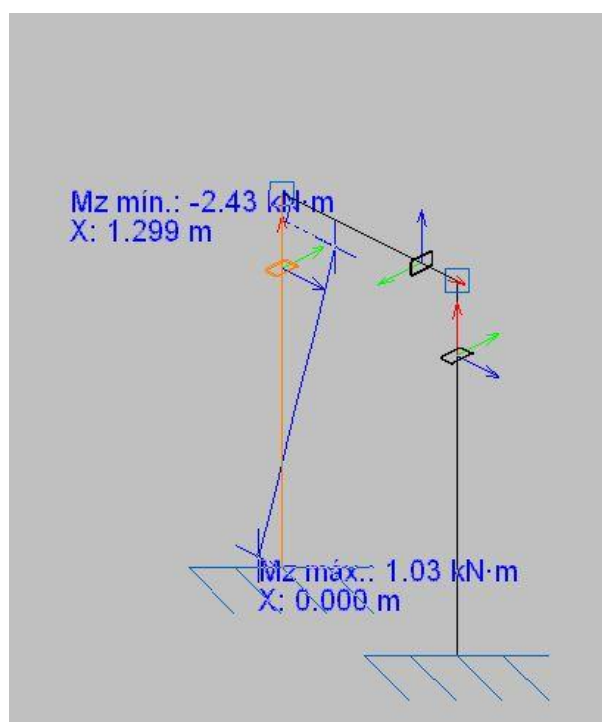


Figura A.83. Diagrama de momento M_z .



Elección del perfil

Buscando en los diagramas de la barra, se obtienen los momentos flectores en Z e Y máximos:

$$M_{y\max} = 8.75 \text{ KN m} \quad (\text{A.90})$$

$$M_{z\max} = 2.43 \text{ KN m} \quad (\text{A.91})$$

Al ser el momento en Y mayor que en Z, se hallará con este primero el módulo resistente mínimo que tiene que tener esta. Se empleará un acero de tipo S355 (cuyo uso viene recomendado por el *Instituto Técnico de la Estructura en Acero, ITEA*).

$$M_y = W_y * f_{yd} \rightarrow W_y = \frac{M_{y\max}}{f_{yd}} = \frac{8.75 * 10^6 \text{ N mm}}{\frac{355 \text{ N}}{1.05 \text{ mm}^2}} = 25.88 \text{ cm}^3 \quad (\text{A.92})$$

Como la norma establecida por los montacargas determina un factor de seguridad de 2.5, se usará para mayorar el módulo resistente.

Por tanto el módulo resistente mayorado es:

$$W_y = 2.5 * 25.88 \text{ cm}^3 = 64.7 \text{ cm}^3 \quad (\text{A.93})$$

Con este dato y las tablas de perfiles, se elige uno que cumpla esta propiedad.

El perfil que cumple estas características es:

Perfil: Rectangular 160 x 60 x 6
Material: Acero (S355)

NUDOS		LONGITUD (m)	Características mecánicas			
INICIAL	FINAL		Área (cm ²)	I _y (cm ⁴)	I _z (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
4	3	1.4	24	694	144	410

Tabla 7.



Comprobaciones E.L.U.

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.018}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{14.731} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{811.44} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{24} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{MO}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.23}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en la rozadera.

M_{Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed} : \underline{8.75} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{38.54} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{114} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{MO}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$



Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.13}$$

M_{Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed} : \underline{2.43} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{18.97} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$Clase : \underline{1}$$

W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{56.1} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.003}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en la rozadera.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.829} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{346.7} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$h : \underline{148} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$



Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.02}$$

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.658} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{121.81} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t$$

$$A_v : \underline{6.24} \text{ cm}^2$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{24} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{148} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{mo} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.37}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se dan en la rozadera.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{14.731} \text{ kN}$$

M_{y,Ed}, **M_{z,Ed}**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{8.75} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{2.43} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{811.44} \text{ kN}$$

M_{pl,Rd,y}, **M_{pl,Rd,z}**: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{38.54} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{18.97} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.02}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en N3.

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo **M_{T,Rd}** viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{16.98} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{87} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Por tanto, atendiendo a las comprobaciones realizadas y observando que todas ellas tienen un coeficiente de seguridad de 2.5, se afirma que la viga seleccionada para este caso es correcta.

A.4.5.2 Barra N3-N2.

Diagramas de esfuerzos.

Diagrama de axiles:

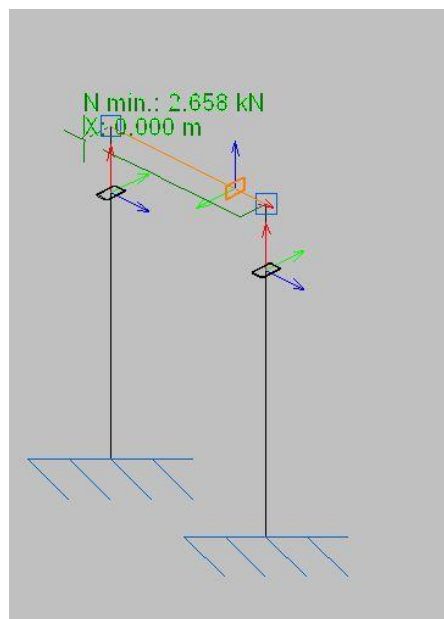


Figura A.84. Diagrama de axiles.



Diagrama de cortante V_y :

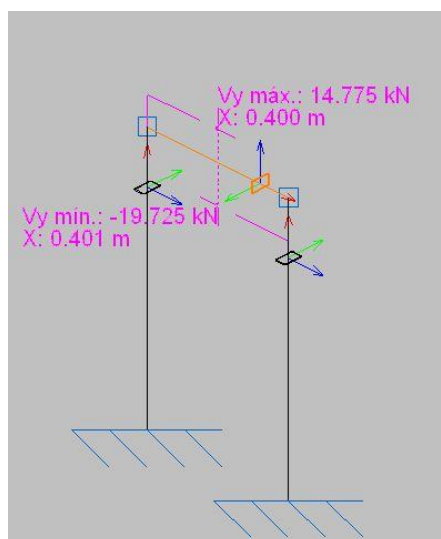


Figura A.85. Diagrama de cortante V_y

Diagrama de cortante V_z :

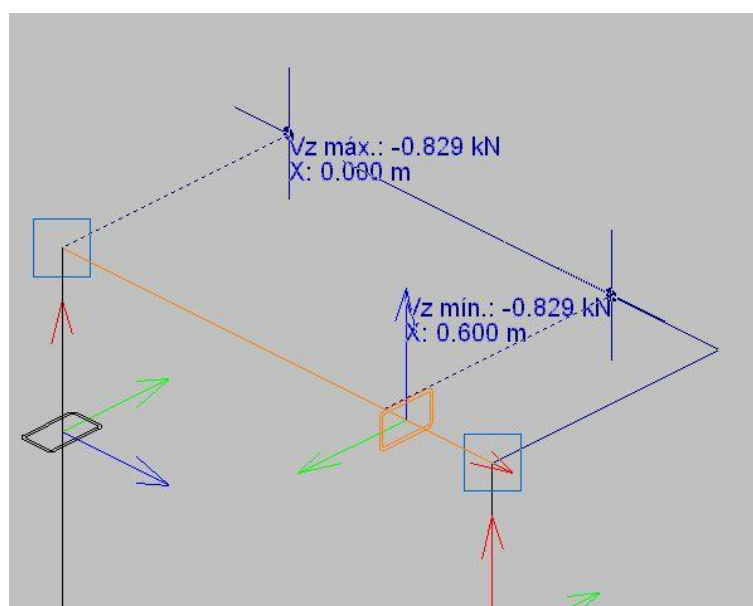


Figura A.86. Diagrama de cortante V_z .

Diagrama de momento torsor:

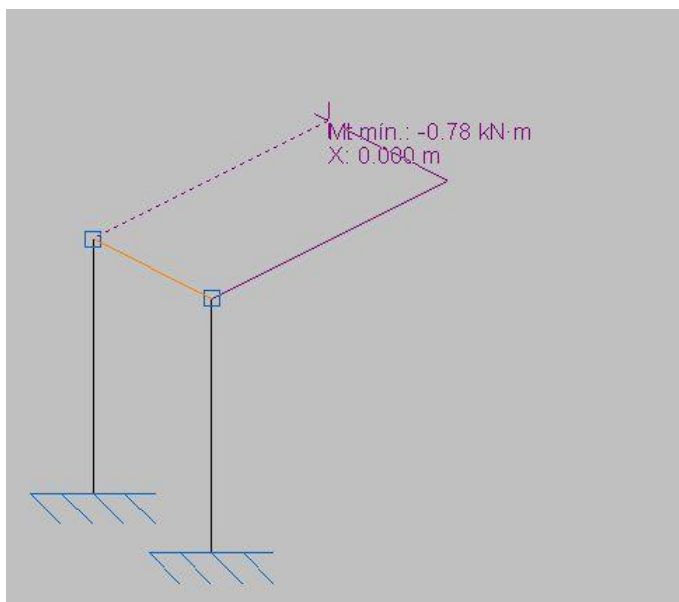


Figura A.87. Diagrama de momento torsor.

Diagrama de momento M_y :

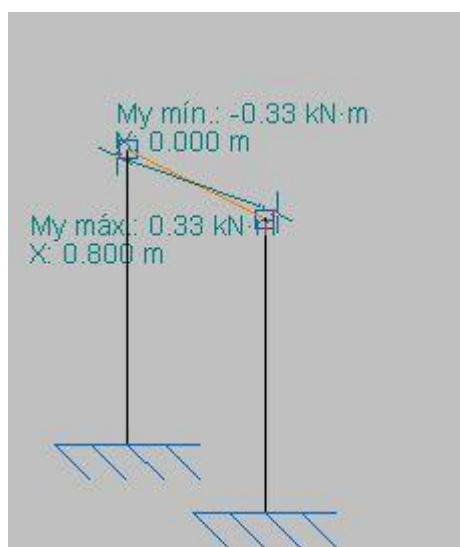


Figura A.88. Diagrama momento M_y .

Diagrama de momento M_z :

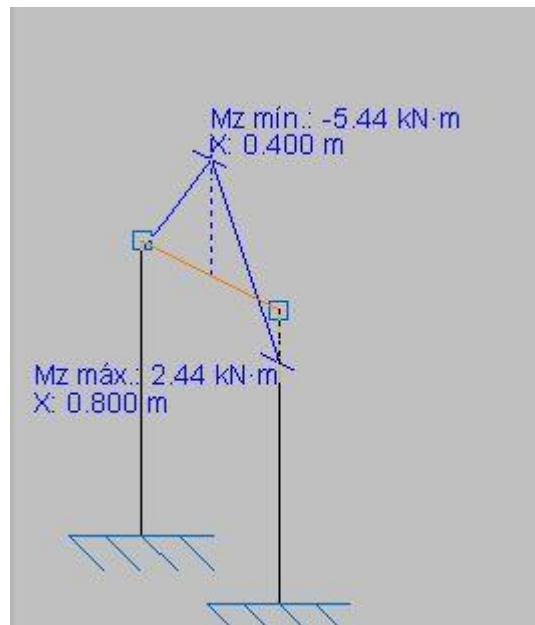


Figura A.89. Diagrama momento M_z .

Elección de perfil.

Observando en los diagramas de la barra, se obtienen los momentos flectores en Z e Y máximos:

$$M_{y \max} = 0.33 \text{ KN m} \quad (\text{A.94})$$

$$M_{z \max} = 5.44 \text{ KN m} \quad (\text{A.95})$$

Al ser el momento en Z mayor que en Y, se hallará con este primero, el módulo resistente. Se trabajará con un acero de tipo S355.

$$M_z = W_z * f_{yd} \rightarrow W_z = \frac{M_{z \max}}{f_{yd}} = \frac{5.44 * 10^6 \text{ N mm}}{\frac{355 \text{ N}}{1.05 \text{ mm}^2}} = 16.1 \text{ cm}^3 \quad (\text{A.96})$$

Como la norma establecida para los montacargas determina un factor de seguridad de 2.5, se usará para mayorar el módulo resistente.



Por tanto el módulo resistente mayorado es:

$$W_z = 2.5 * 16.1 \text{ cm}^3 = 40.25 \text{ cm}^3 \quad (\text{A.97})$$

Con este dato y las tablas de perfiles, se elige uno que cumpla esta propiedad.

El perfil que cumple estas características es:

Perfil: Cuadrado 160 * 60 * 5
Material: Acero (S355)

NUDOS		LONGITUD (m)	Características mecánicas			
INICIAL	FINAL		Área (cm ²)	I _y (cm ⁴)	I _z (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
2	3	0.8	20.4	602	126	355

Tabla 8.

Comprobaciones E.L.U.

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : 0.004$

N_{c,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{c,Ed} : 2.658 kN

La resistencia de cálculo a tracción **N_{c,Rd}** viene dada por:

N_{c,Rd} : 689.724 kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 20.4 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 338.1 MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 355.0 MPa

γ_{MO}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{MO} : 1.05



Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.33}$$

M_{Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed} : \underline{5.44} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{16.36} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$Clase : \underline{1}$$

W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{48.4} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{MO}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.01}$$

M_{Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed} : \underline{0.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{33.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Clase : \underline{1}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{97.7} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{MO}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$



Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.07}$$

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{19.725} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{292.8} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{15} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{150} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{5} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.008}$$

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.829} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{105.41} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{5.4} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{20.4} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{150} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{5} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$



Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.35}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se dan N2.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

M_{y,Ed}, **M_{z,Ed}**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

M_{pl,Rd,y}, **M_{pl,Rd,z}**: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$N_{c,Ed} : \underline{2.658} \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{5.44} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{689.724} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{33.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{16.36} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.05}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo **M_{T,Rd}** viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{14.84} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{76} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{338.1} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{355.0} \text{ MPa}$$

γ_{mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{mo} : \underline{1.05}$$

Por tanto, atendiendo a las comprobaciones realizadas y observando que todas ellas tienen un coeficiente de seguridad de 2.5, se afirma que la viga seleccionada para este caso es correcta.



A.4.5. PESO DE LA ESTRUCTURA.

La estructura final queda como se muestra en la figura A.90,

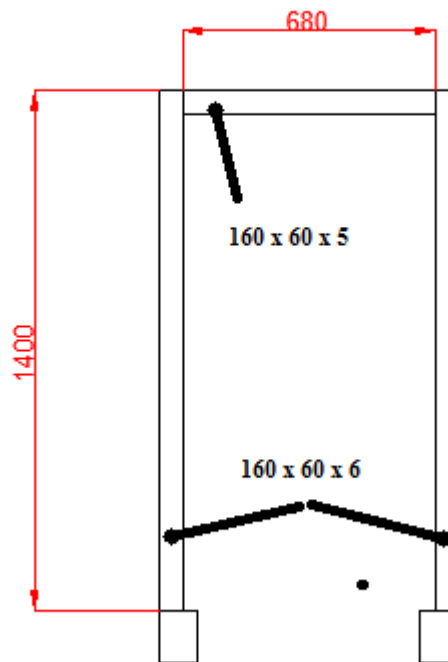


Figura A.90. Estructura bastidor posterior.

Peso de las barras verticales:

Las barras verticales tienen un perfil tubular rectangular de 160 x 60 x 6 mm, las cuales según la tabla de perfiles seguida tienen un masa por unidad de longitud de 18.9 kg / m.

El peso de una barra es:

$$P_v = 18.9 \frac{kg}{m} * 1.34 m = 25.326 kg \quad (A.98)$$

El peso del conjunto de las dos barras es:

$$P_{vt} = 2 * (25.326 kg) = 50.652 kg \quad (A.99)$$



Peso de la barra horizontal:

La barra horizontal tiene un perfil rectangular de 160 x 60 x 5, la cual según la tabla de perfiles seguida tiene un masa por unidad de longitud de 16 kg / m.

El peso de la barra de 800 mm de longitud es:

$$Ph = 16 \frac{kg}{m} * 0.8 m = 12.8 kg \quad (A.100)$$

Peso de la estructura.

El peso total sale del resultado de sumar:

$$P_T = 50.652 kg + 12.8 kg = 63.452 kg \quad (A.101)$$



ÍNDICE:

ANEJO B: CÁLCULOS II.....	1
B.1. CÁLCULO DE LAS GUÍAS Y SELECCIÓN DE PERFILES.	1
B.1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
B.1.2. HIPÓTESIS DE PARTIDA.	2
B.1.3. CARGAS QUE ACTÚAN EN LAS GUÍAS.	3
B.1.4. ESFUERZOS EN LAS GUÍAS.	6
B.1.5. ELECCIÓN DE LAS GUÍAS.....	13
B.1.6. CONCLUSIÓN.....	17
B.2. SISTEMA DE GUIADO.	18
B.3. ANCLAJE PLATAFORMA-PISTÓN.	21
B.3.1. DIMENSIONADO PLACA DE ACERO SUPERIOR.....	22
B.3.2. DIMENSIONADO DE LAS BARRAS.	24
B3.3. DIMENSIONADO PLACA OSCILANTE.....	27
B.3.4. CONJUNTO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE.....	28
B.4. CIRCUITO HIDRÁULICO DEL MONTACARGAS.	29
B.4.1. CILINDRO HIDRÁULICO.....	29
B.4.2. CENTRAL HIDRÁULICA.....	36
B.5. SOPORTE DE LAS GUÍAS.	46
B.5.1. INTRODUCCIÓN.....	46
B.5.2.DIMENSIONADO PILAR N1-N3.....	55
B.5.3.DIMENSIONADO VIGA N6-N3.....	66
B.5.4.DIMENSIONADO VIGA N2-N7.....	71
B.5.5. CONCLUSIONES.....	76



ANEJO B: CÁLCULOS II.

B.1. CÁLCULO DE LAS GUÍAS Y SELECCIÓN DE PERFILES.

B.1.1. INTRODUCCIÓN.

En este apartado se detallan los cálculos necesarios para la elección del perfil de guía más adecuado según las solicitudes de carga existentes.

Las guías han de dimensionarse teniendo en cuenta los esfuerzos de flexión y de pandeo que provocan las cargas implicadas.

Para el cálculo de las guías se distinguen según la normativa dos estados o casos de carga:

- Uso normal.
- Actuando un dispositivo de seguridad.

La primera se refiere a la formulación que ha de llevarse a cabo cuando el movimiento de la plataforma es el de funcionamiento normal; el segundo hace referencia al funcionamiento del montacargas cuando actúa el paracaídas de seguridad; esto se produce cuando el montacargas sobrepasa en un porcentaje estipulado el valor de la velocidad nominal. Las condiciones que han de cumplir las guías en este caso son más restrictivas que las de funcionamiento normal, ya que los esfuerzos a los que se ven sometidas son más altos. El tercer caso es el cálculo que hay que llevar a cabo cuando se está cargando el montacargas; en esta situación, la carga que se introduce provoca un esfuerzo.

Por tanto para el cálculo de las guías se opta por el caso más desfavorable que se puede llegar a dar que es cuando está actuando un dispositivo de seguridad, ya que cuando se produce una avería y actúa la válvula paracaídas, sobre las guías se generan unos esfuerzos, que a continuación se detallarán, que hacen que se tengan en cuenta para el dimensionado de estas.



B.1.2. HIPÓTESIS DE PARTIDA.

Antes de realizar el cálculo pertinente de las guías según los esfuerzos a los que están sometidas, es necesario definir previamente el material del que estarán fabricadas.

En este caso se ha optado por un acero de construcción de uso general, concretamente el S275 según UNE 10025-94, y con grado de soldabilidad JR a 20°C. Por tanto, su resistencia a la tracción estará comprendida entre 410 y 560 MPa.

Se sabe también que el acero empleado para las guías tiene resistencias de tracción límites de 370 MPa como mínimo y 520 MPa como máximo. Por este motivo, del acero S275 a emplear para las guías se escoge el de una resistencia a la tracción intermedia, $R_m = 520 \text{ N/mm}^2$.

Según la norma EN 81-3, el coeficiente de trabajo máximo que puede admitirse para las guías, por los esfuerzos derivados de la actuación del paracaídas, dependiendo de la resistencia a la tracción del material, no debe rebasar (ver tabla 1.):

CASOS DE CARGA	Rm (N/mm2)		
	370	440	520
Carga de uso normal.	165	195	230
Activación del paracaídas	205	244	290

Tabla 1. Tabla de tensiones permitidas según norma EN 81-3.

De este modo el coeficiente de trabajo máximo para el acero elegido de 520 MPa de resistencia a la tracción es de 290 MPa.

La siguiente consideración es que se usarán guías de perfil T para el guiado de la plataforma.



B.1.3. CARGAS QUE ACTÚAN EN LAS GUÍAS.

Se tienen en cuenta tres tipos de cargas:

-P: Masa de la plataforma vacía y de los componentes que cuelgan de ella.

$$P = 525kg. \quad (B.1)$$

Su punto de aplicación es el centro de gravedad de la masa de la plataforma (c.d.g.).

El centro de gravedad de la plataforma se calcula (ver figura B.1):

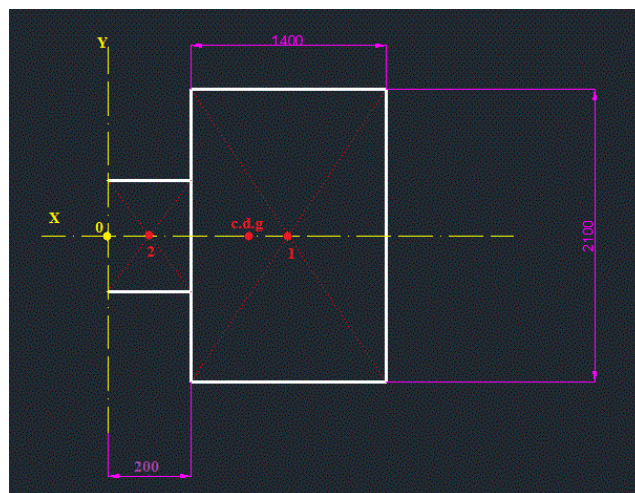


Figura B.1. Posición del peso de la carga.

Donde los puntos 1 y 2 son los centros de gravedad del bastidor inferior (incluyendo la pared y barandillas) y del bastidor posterior respectivamente.

Las masas de los bastidores son:

$$m_1 = 189.983 + 225.08 = 415.063 \text{ kg} \quad (B.2)$$

$$m_2 = 10.56 + 63.452 = 74.012 \text{ kg} \quad (B.3)$$



Y sus puntos de aplicación respecto a los ejes son:

$$X_1 = 200 + \frac{1400}{2} = 900 \text{ mm} \quad (\text{B.4})$$

$$Y_1 = 0 \quad (\text{B.5})$$

$$X_2 = \frac{200}{2} = 100 \text{ mm} \quad (\text{B.6})$$

$$Y_2 = 0 \quad (\text{B.7})$$

Por tanto la posición del centro de gravedad del conjunto de la plataforma con respecto al punto O es:

$$X_{c.d.g} = \frac{m_1 * x_1 + m_2 * x_2}{m_1 + m_2} = 878 \text{ mm} \quad (\text{B.8})$$

$$Y_{c.d.g} = \frac{m_1 * y_1 + m_2 * y_2}{m_1 + m_2} = 0 \text{ mm} \quad (\text{B.9})$$

Ahora solo queda referenciar la posición del centro de gravedad de la plataforma con respecto al punto O₁ (ver figura B.2)

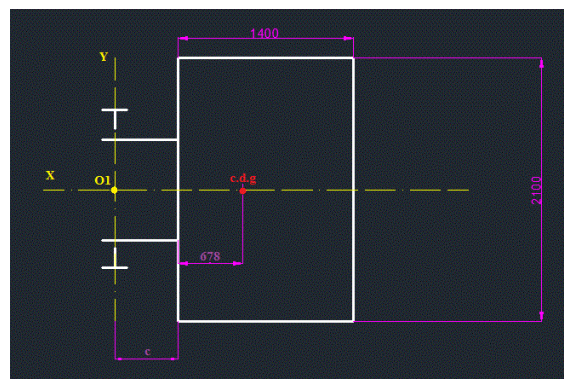


Figura B.2. Posición del C.D.G



Por lo cual, la posición de la carga P es:

$$X_p = c + 678 = 120 + 678 = 798 \text{ mm} \quad (\text{B.10})$$

$$Y_p = 0 \quad (\text{B.11})$$

Donde c es la distancia entre el centro de las guías y la parte más cercana de la cabina.

-Q: Carga nominal.

$$Q = 3000 \text{ kg} \quad (\text{B.12})$$

Tiene que estar uniformemente distribuida dentro de las tres cuartas partes del área de la cabina, estando en la posición más desfavorable.

La posición de la carga Q con respecto al punto O₁ (ver figura B.3) es:

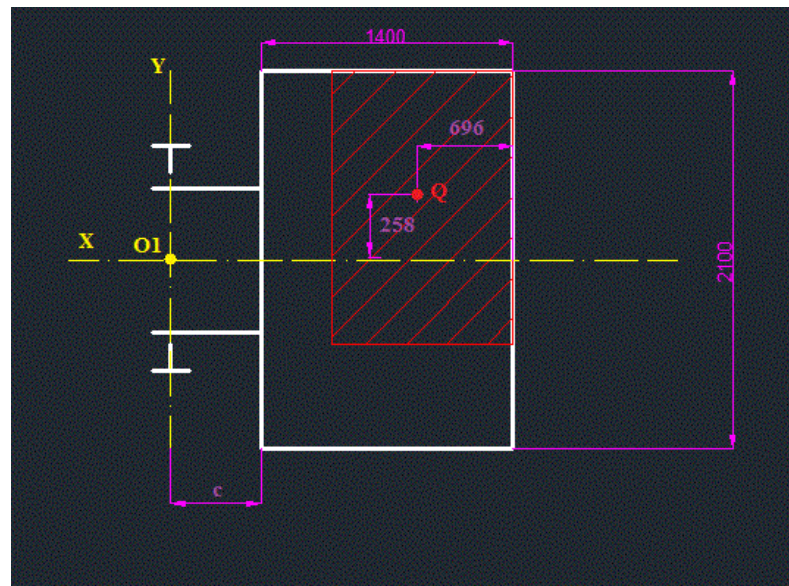


Figura B.3 Posición del C.D.G de la carga nominal.

$$X_Q = c + (1400 - 696) = 120 + 704 = 824 \text{ mm} \quad (\text{B.13})$$

$$Y_Q = 258 \text{ mm} \quad (\text{B.14})$$



-M: Es el esfuerzo por cada guía debido a equipos auxiliares fijados en la misma, excepto las de limitador de velocidad y partes asociadas. En el caso del montacargas objeto de este proyecto, no existe ninguno. Por tanto:

M = No procede en este caso.

B.1.4. ESFUERZOS EN LAS GUÍAS.

Según dicta la norma EN 81-2, las guías deben dimensionarse tomando en consideración los esfuerzos de flexión y de pandeo, ya que se ha seguido el caso más desfavorable que es cuando actúan los dispositivos de seguridad.

Además se dimensionará suponiendo que se da la combinación de ambos esfuerzos, ya que es el caso más restrictivo. Por lo cual se verá si el perfil seleccionado es correcto o no a partir de la ecuación (B.15):

$$\sigma = \sigma_m + \sigma_k \leq \sigma_{perm} \quad (B.15)$$

Donde:

$-\sigma_m$ = esfuerzo a flexión.

$-\sigma_k$ = esfuerzo a pandeo.

$-\sigma_{perm}$ = coeficiente de trabajo máximo, que en este caso vale 290 MPa.

A continuación se detallarán paso a paso los esfuerzos a flexión y a pandeo.

B.1.4.1. Esfuerzos de flexión.

En el cálculo a flexión hay que tener en cuenta que dicho depende:

- Del tipo de suspensión de la cabina.
- De la posición de las guías de la cabina
- De la carga y su distribución en la cabina.



Además, hay que asumir para el cálculo ciertas condiciones:

- Que las guías son una viga continua con puntos flexibles de fijación a una distancia que llamaremos “ l ”.
- Que la fuerza resultante de los esfuerzos que causan pandeo actúan en el punto medio de dos fijaciones adyacentes;
- Que el momento de flexión actúa en el eje neutro del perfil de la guía.

Una vez realizadas estas puntualizaciones, las fórmulas usadas para el cálculo de los esfuerzos de flexión son:

$$\sigma_m = \frac{M_m}{W} \quad (\text{B.16}) \qquad M_m = \frac{3 * F_b * l}{16} \quad (\text{B.17})$$

Donde:

$-\sigma_m$ = esfuerzo a flexión en N/mm^2

$-M_m$ = Momento de flexión en $N * mm$

$-W$ = momento de inercia de la sección en mm^3

$-l$ = distancia máxima entre fijaciones de guías en mm .

$-F_b$ = Fuerza en Newton aplicada a las guías por las rozaderas.

Estas fórmulas han de ser aplicadas en las dos direcciones de trabajo del perfil de guía, en este caso X e Y , para la comprobación de los esfuerzos de flexión en estas dos direcciones, es decir:

$$\sigma_X = \frac{M_X}{W_X} \quad (\text{B.18}) \qquad M_X = \frac{3 * F_Y * l}{16} \quad (\text{B.19})$$

$$\sigma_Y = \frac{M_Y}{W_Y} \quad (\text{B.20}) \qquad M_Y = \frac{3 * F_X * l}{16} \quad (\text{B.21})$$



Las fuerzas F_X y F_Y se obtienen a partir de las ecuaciones:

$$F_X = \frac{k_1 * g * (Q * X_Q + P * X_P)}{n * h} \quad (B.22)$$

$$F_Y = \frac{k_1 * g * (Q * Y_Q + P * Y_P)}{\frac{n}{2} * h} \quad (B.23)$$

Donde:

$-k_1 = \text{factor de impacto.}$

$-g = \text{aceleración de la gravedad} \left(\frac{m}{s^2} \right).$

$-Q = \text{carga nominal (kg).}$

$-P = \text{masa de la plataforma más componentes que van en ella (kg).}$

$-n = \text{número de guías empleadas.}$

$-h = \text{distancia entre rozaderas de la plataforma (m).}$

$-X_P, Y_P = \text{coordenadas de la masa P (m).}$

$-X_Q, Y_Q = \text{coordenadas de la masa Q (m).}$

El valor k_1 , factor de impacto, se obtiene de la “*tabla G.2 de la norma EN 81-2*” teniendo en cuenta que para este montacargas se utilizará una válvula paracaídas, por lo cual:

$$k_1 = 2. \quad (B.24)$$

Los valores de h (distancia entre rozaderas) y l (distancia máxima entre fijaciones) se obtienen por la experiencia, por tanto en este caso se han utilizado los más comúnmente utilizados por los fabricantes.

Una vez se tienen las ecuaciones de las fuerzas definidas se procede a su cálculo. Los valores usados se reflejan en la tabla 2:



k1	2
g	10 m/s ²
n	2
Xq	0.824 m
Xp	0.798 m

Q	3000 kg
P	525 kg
h	1.2 m
Yq	0.258 m
Yp	0

Tabla 2

La fuerza en X se tiene sustituyendo en la ecuación B.22,

$$F_X = 23.6 \text{ KN} \quad (\text{B.25})$$

La fuerza en Y se tiene sustituyendo en la ecuación B.23,

$$F_Y = 12.9 \text{ KN} \quad (\text{B.26})$$

Una vez se tienen los valores de las fuerzas, y sabiendo que la distancia máxima entre fijaciones de guías es $l = 2 \text{ m}$ se pueden obtener automáticamente los momentos.

El momento en x se obtiene sustituyendo en la ecuación B.19,

$$M_X = \frac{3 \cdot 12.9 \cdot 2}{16} = 4.84 \text{ KN m} \quad (\text{B.27})$$

El momento en y se obtiene sustituyendo en la ecuación B.21,

$$M_Y = \frac{3 \cdot 23.6 \cdot 2}{16} = 8.85 \text{ KN m} \quad (\text{B.28})$$

Por último solo queda dejar los esfuerzos en función de los módulos resistentes de las guías T.

El esfuerzo en X se obtiene sustituyendo en la ecuación B.18,

$$\sigma_X = \frac{4.84 \cdot 10^6 (\text{N mm})}{W_X} \quad (\text{B.29})$$

El esfuerzo en Y se obtiene sustituyendo en la ecuación B.20,

$$\sigma_Y = \frac{8.85 \cdot 10^6 (\text{N mm})}{W_Y} \quad (\text{B.30})$$



Una vez se tienen los esfuerzos a flexión según los ejes X e Y , la combinación de ambos viene dada por:

$$\sigma_m = \sigma_X + \sigma_Y = \frac{4.84 \cdot 10^6 (N \text{ mm})}{W_X} + \frac{8.85 \cdot 10^6 (N \text{ mm})}{W_Y} \quad (\text{B.31})$$

Esta fórmula será usada posteriormente para el cálculo del dimensionado de las guías junto a la que se obtendrá del esfuerzo a pandeo.

B.1.4.2. Esfuerzos de pandeo.

Para el cálculo de los esfuerzos a pandeo se emplea el cálculo por el *método omega*, con la aplicación de las siguientes fórmulas:

$$F_k = \frac{k_1 \cdot g \cdot (Q + P)}{n} \quad (\text{B.32})$$

$$\sigma_k = \frac{(F_k + k_3 \cdot M) \cdot \omega}{A} \quad (\text{B.33})$$

Donde:

- F_k = fuerza de pandeo (N) en la guía de plataforma.
- σ_k = esfuerzo de pandeo (N/mm^2).
- M = fuerza (N) en la guía debido a equipos auxiliares.
- k_3 = factor de impacto.
- A = área de la sección del perfil de guía (mm^2).
- ω = valor omega (que debe ser calculado).

El valor k_3 , factor de impacto, se calcula según expresa la "tabla G.2 de la norma EN 81-2". El valor tiene que determinarse por el fabricante ya que depende de cada instalación real. Por tanto:

$$k_3 = \text{No procede en este caso.} \quad (\text{B.34})$$



Para hallar el valor de omega que aplica en este caso, se utilizarán las tablas que la norma EN 81-2 ofrece. Este está en función de la esbeltez de la guía y de la resistencia del acero que se tiene.

Por tanto para hallar el valor omega se realizan los siguientes pasos:

1. Conociendo las características del perfil, se calcula el valor de λ , coeficiente de esbeltez de guía, usando la ecuación B.35,

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \quad l_k = l. \quad (B.35)$$

Donde:

$-l_k = \text{longitud de pandeo}(mm).$

$-i = \text{radio de giro mínimo}(mm).$

$-l = \text{distancia máxima entre fijaciones de guía}(mm).$

2. Una vez hallado λ , usando la “tabla G.4 de la norma EN 81-2”, ya que el material empleado tiene una resistencia a la tracción de 520 MPa, se obtiene el valor de omega en función de λ .

Una vez visto como se hallan los valores característicos para el cálculo de los esfuerzos a pandeo, se procederá a determinar este esfuerzo en función de los datos del perfil.

La fuerza k se tiene sustituyendo valores en la ecuación B.32,

$$F_k = \frac{2 \cdot 10 \cdot (3000 + 450)}{2} = 34.5 \text{ KN} \quad (B.36)$$

El esfuerzo a pandeo se determina sustituyendo valores en la ecuación B.33,

$$\sigma_k = \frac{(34.5 \cdot 10^3) \cdot \omega}{A} \quad (B.37)$$



B.1.4.3. Esfuerzos combinados.

Una vez se han definido los dos esfuerzos tenidos en cuenta para el dimensionado se procede a realizar la combinación de ambos esfuerzos.

Teniendo,

$$\sigma = \sigma_m + \sigma_k \leq \sigma_{perm} \quad (B.38)$$

y habiéndose obtenido que,

$$\sigma_m = \frac{4.84 \cdot 10^6 (N \text{ mm})}{W_X} + \frac{8.85 \cdot 10^6 (N \text{ mm})}{W_Y} \quad (B.39)$$

$$\sigma_k = \frac{(34.5 \cdot 10^3) \cdot \omega}{A} \quad (B.40)$$

$$\sigma_{perm} = 290 \text{ MPa} \quad (B.41)$$

Se llega a la conclusión que para que el perfil de guía escogido cumpla con la normativa seguida, se debe dar:

$$\frac{4.84 \cdot 10^6 (N \text{ mm})}{W_X (mm^3)} + \frac{8.85 \cdot 10^6 (N \text{ mm})}{W_Y (mm^3)} + \frac{(34.5 \cdot 10^3 (N)) \cdot \omega}{A (mm^2)} \leq 290 \text{ MPa} \quad (B.42)$$



B.1.5. ELECCIÓN DE LAS GUÍAS.

B.1.5.1. Dimensionado.

Para el cálculo de las guías se usará el catálogo de guías de la empresa *Savera*

Se coge el perfil T 140-2/B, cuyas propiedades son:

- Sección transversal: $A = 43.21 \text{ cm}^2$
- Módulo resistente en x: $W_x = 68.01 \text{ cm}^3$
- Módulo resistente en y: $W_y = 51.18 \text{ cm}^3$
- Radio de giro mínimo: $i_y = 2.879 \text{ cm}$.

Teniendo todos estos datos, puede determinarse la omega, la cual se obtiene:

$$1) \quad \lambda = \frac{l_k}{i} = \frac{2000 \text{ mm}}{28.79 \text{ mm}} = 69.46 \quad (\text{B.43})$$

2) Se obtiene en la tabla de la norma para,

$$\lambda = 69.46 \rightarrow \omega = 1.59 \quad (\text{B.44})$$

Para saber si el perfil seleccionado cumple basta con sustituir en la ecuación B.42 los valores correspondientes,

$$\frac{4.84 \cdot 10^6 (N \text{ mm})}{68010 (mm^3)} + \frac{8.85 \cdot 10^6 (N \text{ mm})}{51180 (mm^3)} + \frac{(34.5 \cdot 10^3 (N)) \cdot 1.59}{4321 (mm^2)} \leq 290 \text{ MPa}$$



Dando como resultado,

$$256.8 \text{ MPa} \leq 290 \text{ MPa} \quad \text{Cumple.}$$

Una vez que se ha hallado el perfil que cumple con los requisitos exigidos por la normativa EN 81-2 se procede a realizar las comprobaciones de torsión y flecha para determinar si es válida.

B.1.5.2. Comprobaciones.

Torsión de la base de la guía.

Según la norma, la torsión del perfil de la guía debe ser también tomada en cuenta, para lo cual se emplea la ecuación:

$$\sigma_F = \frac{1.85 \cdot F_x}{c^2} \leq \sigma_{perm} \quad (\text{B.45})$$

Siendo:

$-F_x = \text{fuerza (N) ejercida por la rozadura sobre la base.}$

$-\sigma_F = \text{esfuerzo de torsión (N/mm}^2\text{).}$

$-c = \text{ancho de conexión de la base con la cabeza de la guía (mm).}$

En la figura B.4 y tabla 3 se pueden ver las dimensiones geométricas del perfil de guía T 140-2/B:

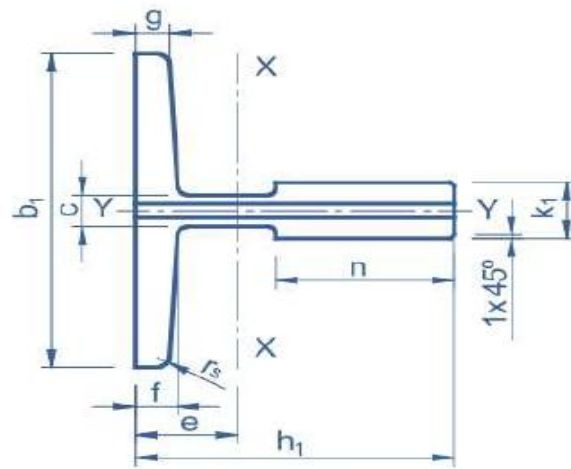


Figura B.4. Dimensiones del perfil.

b_1	140 mm
c	17.5 mm
f	17.5 mm
g	14,5 mm

h_1	102 mm
k_1	28.6 mm
n	51 mm

Tabla 3. Datos.

Para ver si cumple las condiciones de torsión se sustituye en la ecuación B.45,

$$\sigma_F = \frac{1.85 * 23.6 * 10^3 (N)}{(17.5mm)^2} = 142.56MPa \leq 290MPa \quad (B.46)$$

Cálculo de las flechas.

Las flechas se deben calcular según las fórmulas siguientes:



$$\delta_X = 0.7 * \frac{F_x * l^3}{48 * E * I_Y} \quad (B.47)$$

$$\delta_Y = 0.7 * \frac{F_Y * l^3}{48 * E * I_X} \quad (B.48)$$

Siendo:

$-\delta_X = flecha(mm) en el eje Y - Y$

$-\delta_Y = flecha(mm) en el eje X - X$

$-F_x = Fuerza ejercida(N) en el eje Y - Y.$

$-F_y = Fuerza ejercida (N) en el eje X - X.$

$-I_Y = momento de inercia de la sección de la guía(mm^4) en el eje XX.$

$-I_X = momento de inercia de la sección de la guía (mm^4) en el eje YY.$

$-E = módulo de elasticidad para el acero en MPa.$

$-l = máxima distancia entre fijaciones de guías.$

Los momentos de inercia del perfil T 140-2/B son:

$$I_X = 456.7 \text{ cm}^4 \quad (B.49)$$

$$I_Y = 358.2 \text{ cm}^4 \quad (B.50)$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones B.47 y B.48 se obtienen las flechas en los ejes X e Y:

$$\delta_X = 0.7 * \frac{23.6 * 10^3 * 2000^3}{48 * 210000 * 358.2 * 10^4} = 3.7 \text{ mm} \quad (B.51)$$

$$\delta_Y = 0.7 * \frac{12.9 * 10^3 * 2000^3}{48 * 210000 * 456.7 * 10^4} = 1.57 \text{ mm} \quad (B.52)$$

Como las deformaciones máximas no superan los 5 mm que la norma admite, estas guías cumplen con la flecha máxima.



B.1.6. CONCLUSIÓN.

A la vista de los resultados, se corrobora que la guía escogida es válida para aplicarla en el montacargas objeto de diseño.

Por último decir que aunque en el caso de las plataformas elevadoras industriales se suelen montar perfiles UPN para el guiado de la unidad elevadora, debido a que cumplen con la misma función y son un poco más baratos, en este caso la parte económica se ha dejado un poco de lado y se ha mirado más por el personal que pueda estar en el almacén. Con esto me refiero a que el sistema de guiado que se emplean en las guías T es silencioso, cosa que en el caso de las guías UPN no sería así en la situación que aplica, ya que habría que montar ruedas de acero para el guiado debido a los grandes esfuerzos que se tienen, generando así un molesto ruido para los trabajadores que se encuentren alrededor del montacargas.



B.2. SISTEMA DE GUIADO.

El sistema de guiado para el montacargas consiste en 4 carros de rodaderas. El montaje de estos será en los extremos del bastidor posterior e inferior, como se ve señalado con puntos rojos en la figura B.5,

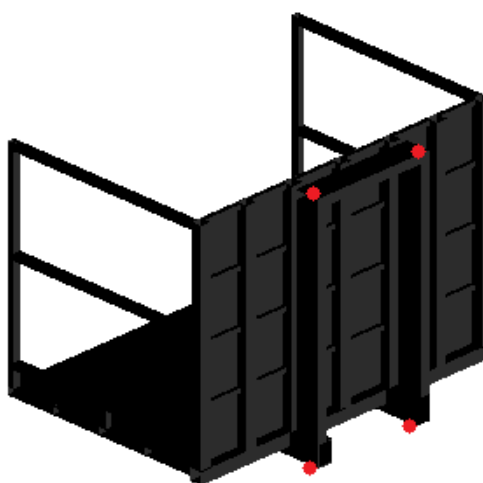


Figura B.5. Disposición de las rozaderas.

El carro rodadera será de tipo comercial. La elección de este se hace atendiendo a:

- Tipo de elevador: Elevador de carga industrial.
- Capacidad a soportar: El peso se reparte por igual para las rodaderas. Como la carga nominal es de 3000 kg y como ya se vio en el apartado B.1 que el peso del conjunto de la plataforma es de 525 kg, el peso que cada carro rodadera tendrá que soportar será la cuarta parte de sumar 3000 kg más 525 kg. Para aplicar un factor de seguridad a estos elementos, se ha optado por buscar carros que aguanten unos 1000 kg de fuerza.
- Velocidad nominal: La velocidad máxima será inferior a 0.3 m/s.
- Tipo de guía: T-140-2/B.



Conociendo estos datos, ya se puede hacer una elección óptima del carro, debido a que las empresas fabricantes ofrecen unas tablas para la elección de estas con los factores mencionados en la lista anterior.

Para estos valores, se selecciona el modelo “Model E Roller Guide” de la empresa *ELSCO GUIDES* que cumple todos los condicionantes anteriormente descritos.

En la figura B.6 puede observarse el carro seleccionado y en la figura B.7 sus dimensiones:



Figura B.6. Carro Model E Roller Guides.

Las ruedas están compuestas de poliuretano, un material resistente y muy extendido en el uso de aplicaciones en donde se tiene que guiar un peso elevado (como el que aplica) con una alta frecuencia.

Además las ruedas incorporan rodamientos de bolas, los cuales aportan que se pueda cargar un gran peso evitándose de que se puedan quedar engarrotadas, provocando una indeseable ruptura de todo el conjunto del carro.

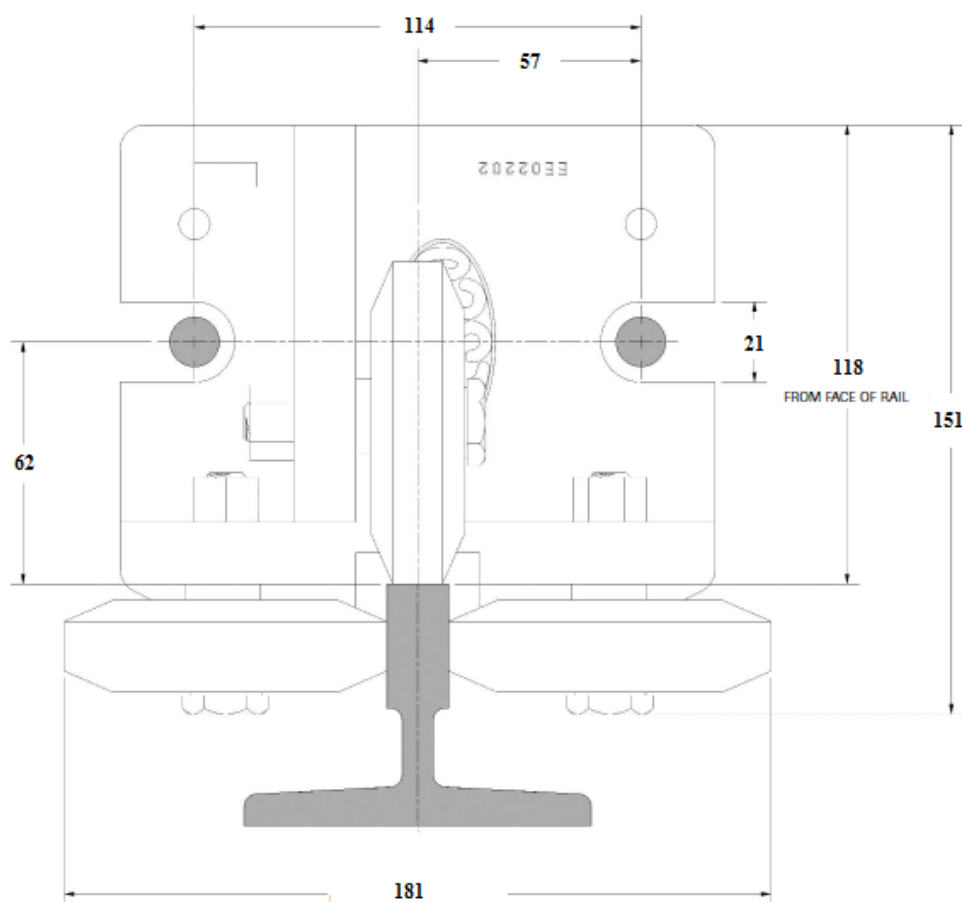


Figura B.7. Dimensiones carro de rodadura.

La información aportada por el fabricante incluye entre otras cosas, el peso del carro, 5.2 kg, importante a la hora de sacar el peso total que el pistón tendrá que mover.

En la figura B.7 se ve que el carro se soporta mediante 2 tornillos al armazón. Estas uniones se componen de:

- Tornillo: M20 x 70-10.9 (todo roscado).
- Arandela: Dos arandelas de métrica 20.
- Rosca: Rosca con freno de métrica 20.

Los tornillos, arandelas y tuercas siguen la norma DIN, y vienen recomendados por el fabricante.



B.3. ANCLAJE PLATAFORMA-PISTÓN.

Para la unión del cilindro hidráulico con el bastidor posterior se ha diseñado una estructura (ver figura B.8), compuesta por una placa que está en contacto con la viga del bastidor posterior, cuatro barras y una placa oscilante que garantiza una unión flexible entre el vástago y la plataforma de acuerdo con los requisitos de la norma.

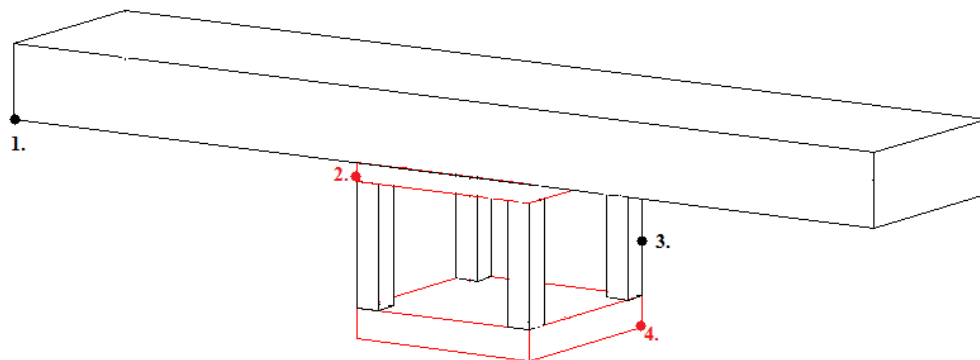


Figura B.8. Estructura de unión plataforma-cilindro hidráulico.

Los puntos de la figura B.8 representan:

1: Viga superior del bastidor posterior.

2: Placa de acero superior para la distribución de esfuerzos generados en el empuje.

3: Barras. Su cometido es dejar un hueco entre las dos placas para poder roscar el vástago del cilindro a la placa oscilante.

4: Placa oscilante.

En los siguientes apartados se muestran los cálculos realizados para el dimensionado de esta estructura.



B.3.1. DIMENSIONADO PLACA DE ACERO SUPERIOR.

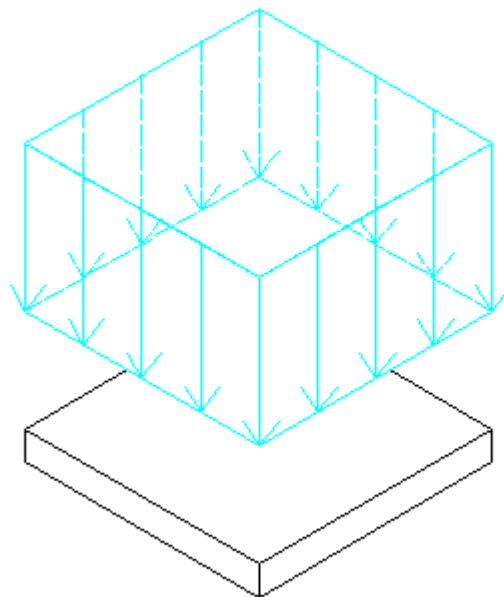
Esta placa, como se expresó anteriormente, sirve de apoyo en la viga superior del bastidor posterior. Sus dimensiones están conformes con la dicha viga, por lo que se tiene una placa cuadrada de 160 mm.

Para conocer el espesor que a de tener esta placa se necesita conocer los esfuerzos que soporta, que son:

- Carga nominal: 3000 kg.
- Peso de la plataforma: 525 kg (se incluyen el peso del conjunto de la plataforma y de las rozaderas.)

Este peso de 3525 kg se distribuye por la superficie cuadrada de la placa (ver figura B.)

$$p = \frac{35250 \text{ N}}{0.160^2 \text{ m}^2} = 1376.95 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{B.53})$$



B.9. Carga distribuida p.



Ya se ha determinado la carga que actúa sobre la plancha. La hipótesis consiste en hallar el espesor a través del módulo resistente, ecuación A.9:

$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot \gamma_{seg} \cdot M_{max}}{b \cdot \sigma_e}}$$

El factor de seguridad a emplear es de 2.5 y la placa será de acero S275.

Queda calcular el M_{max} . Sobre un cuadrado de 160 mm se ejerce una fuerza de $p = 1376.95 \frac{kN}{m^2}$. Para convertir esta en una carga lineal se multiplica por un lado del cuadrado quedando:

$$q_2 = 1376.95 \cdot 0.16 = 220.312 \frac{kN}{m} \quad (B.54)$$

Se establece una hipótesis por la cual el momento al que está sometido la placa se calcula como si fuera una viga biempotrada con una carga lineal uniformemente repartida por toda la longitud del mismo ($b = 160$ mm). Sustituyendo en la ecuación A.11,

$$M_{max} = \frac{220.312 \frac{kN}{m} \cdot 0.16^2}{12} = 469.99 Nm$$

Sustituyendo valores en la ecuación A.9 tenemos:

$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot \gamma_{seg} \cdot M_{max}}{b \cdot \sigma_e}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2.5 \cdot 469990 Nm}{160 mm \cdot 235 \frac{N}{mm}}} = 13.69 mm \approx 15 mm$$

El peso de la plancha queda determinado por:

Volumen de la placa,

$$V = 0.160 \cdot 0.160 \cdot 0.015 = 3.84 \cdot 10^{-4} m^3 \quad (B.55)$$

La densidad del acero,

$$\rho = 7850 kg/m^3 \quad (B.56)$$



Por lo que se tiene, que la masa de la plancha es:

$$P = V * \rho = (3.84 * 10^{-4}) * (7850) = 3.02 \text{ kg} \quad (\text{B.57})$$

B.3.2. DIMENSIONADO DE LAS BARRAS.

Estas barras tienen una longitud de 100mm, la cual garantiza que se pueda realizar con comodidad la unión del vástago con la plataforma.

Estas barras soportan 3525 kg (peso de la unidad de carga con componentes) más 3.02 kg del peso de la plancha de acero. Al ser cuatro barras, este peso se distribuye por igual para todas. La figura A.10 muestra la fuerza que soporta una barra y la figura A.11 el diagrama de esfuerzos axiales,

Al soportar la barra una carga que la comprime, para hallar las dimensiones de esta, se estudiará a compresión y a pandeo.

Se utiliza un acero S275 y los perfiles son en L, ya que se gana espacio.

A través del diagrama de esfuerzos y aplicando un factor de seguridad de 2.5, el perfil seleccionado y el cual cumple con los requisitos es:

Perfil: L 20 x 20 x 3. (ver cálculos en comprobaciones E.L.U)



Figura B.10. Carga sobre la barra.

Figura B.11. Diagrama de axiles de la barra.



Las características del perfil son:

Perfil: L 20 x 20 x 3

Material: Acero (S275)

NUDOS		LONGITUD (m)	Características mecánicas			
INICIAL	FINAL		Área (cm ²)	I _y (cm ⁴)	I _z (cm ⁴)	I _t (cm ⁴)
1	2	0.1	1.12	0.39	0.39	0.03

Tabla 4. Características perfil.

Comprobaciones E.L.U:

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.3}$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.31}$$

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N_{c,Ed}} : \underline{8.82} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$\mathbf{N_{c,Rd}} : \underline{29.33} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\mathbf{Clase} : \underline{3}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{1.12} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{261.9} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{275.0} \text{ MPa}$$

γ_{MO}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{MO}} : \underline{1.05}$$



Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} : \underline{28.23} \text{ kN}$$

Donde:

A : Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{1.12} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.9} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.0} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_v : \underline{0.96}$$

$$\chi_{FT} : \underline{1.00}$$

Siendo:

$$\phi_v : \underline{0.56}$$

$$\phi_{FT} : \underline{0.50}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_v : \underline{0.34}$$

$$\alpha_{FT} : \underline{0.34}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_v : \underline{0.30}$$

$$\bar{\lambda}_{FT} : \underline{0.15}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{331.62} \text{ kN}$$

$N_{cr,v}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje V.

$$N_{cr,v} : \underline{331.62} \text{ kN}$$

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$$N_{cr,FT} : \underline{1285.02} \text{ kN}$$

Al estar estas barras sometidas solo a esfuerzos de compresión, y confirmar a través de las comprobaciones que estas tienen un factor de seguridad mínimo de 2.5, la elección del perfil ha sido correcta.

El peso de esta barra tipo L es de 0.9 kg/m. Al ser las cuatro barras de 100 mm cada una, el peso de las cuatro es de 0.36 kg.



B3.3. DIMENSIONADO PLACA OSCILANTE.

Esta placa es suministrada por el fabricante de los cilindros hidráulicos. La geometría de esta se observa en la figura B.12,

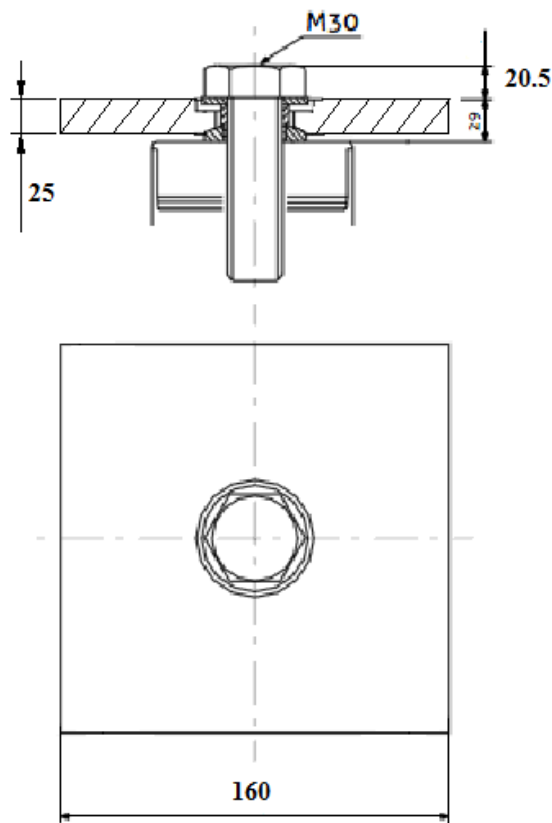


Figura B.12. Geometría placa oscilante.

La masa de la placa oscilante es de 6.5 kg, según indicaciones del fabricante. El material del que está compuesta es de un acero S275, el cual es bueno para nuestra aplicación ya que se podrá soldar a las vigas en L anteriormente calculadas.

El tornillo que se observa en la figura B.12 sirve para anclar el pistón a este soporte, y así servir para cuando el pistón empuje este no pueda desplazarse hacia los lados.



B.3.4. CONJUNTO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE.

La estructura de unión queda de la siguiente manera:

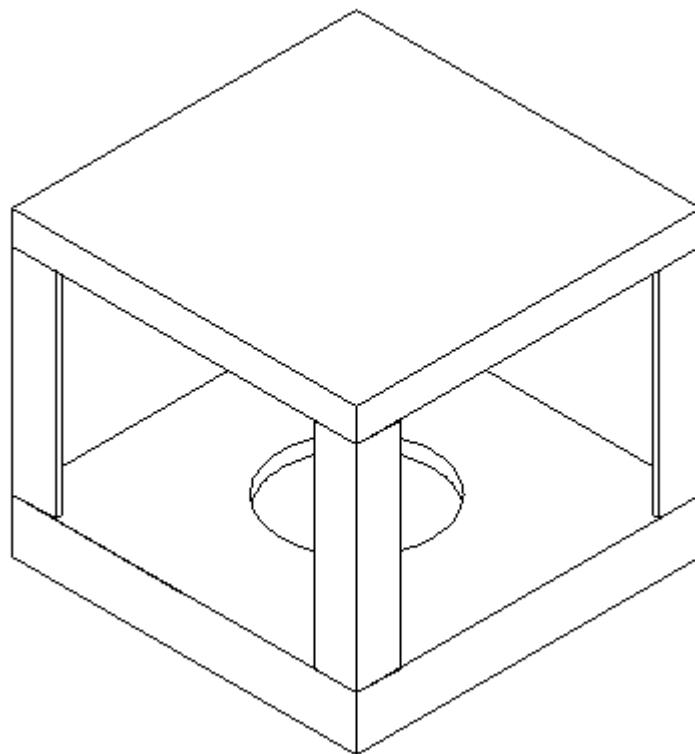


Figura B.13. Estructura de unión.

La masa de la estructura sale del sumatorio del peso de los tres elementos que la conforman,

$$M_{estr} = 9.88 \text{ kg.} \quad (B.58)$$



B.4. CIRCUITO HIDRÁULICO DEL MONTACARGAS.

En este apartado se muestran los cálculos seguidos para el dimensionado del circuito hidráulico, como son el cilindro, motor y accesorios.

B.4.1. CILINDRO HIDRÁULICO.

B.4.1.1. Determinación de la carga total de cálculo.

$$Q = \text{Carga nominal} = 3000 \text{ kg.} \quad (\text{B.59})$$

$$Q_b = \text{Peso de la plataforma con accesorios} = 525 \text{ kg.} \quad (\text{B.60})$$

$$Q_1 = \text{Peso del cabezal de conexión} = 10 \text{ kg} \quad (\text{B.61})$$

$$Q_{2Hi} = \text{Peso propio del pistón (estimación)} = 110 \text{ kg} \quad (\text{B.62})$$

La carga total de cálculo es:

$$Q_t = Q + Q_b + Q_1 + Q_{2Hi} = 3645 \text{ kg} \quad (\text{B.63})$$

B.4.1.2. Determinación de la carrera del pistón.

El trayecto que tiene que recorrer la cabina es de 4 metros. Al ser de acción directa, la carrera del pistón es de 4 metros. La norma EN 81-3 marca un sobrerrecorrido de 0.3 m.

Por tanto:

$$\text{Carrera} = 4 + 0.3 = 4.3 \text{ m.} \quad (\text{B.64})$$



B.4.1.3. Determinación de la superficie hidráulica del pistón.

Se aconseja una presión de trabajo de 28 bar, luego la superficie hidráulica del pistón deberá ser:

$$A_p = \frac{Q_t}{P_t} \quad (B.65)$$

donde:

- A_p = superficie hidráulica del pistón.
- Q_t = carga total de cálculo.
- P_t = presión de trabajo.

entonces sustituyendo en la ecuación B.65:

$$A_p = \frac{36450 \text{ N}}{2.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 13017.85 \text{ mm}^2 = 130.18 \text{ cm}^2 \quad (B.66)$$

Para los cilindros se usa el catálogo de la compañía "ELEVALLIA".

Se elige un pistón de 130 mm de diámetro, cuya superficie es de 132.73 cm².

8.1.4. Detalles del cilindro escogido.

Las características del cilindro-pistón son:

Tipo	Vástago							Cilindro										Presión estática máx. [bar]
	ø d [mm]	e [mm]	ø di [mm]	A ₁ [mm²]	A ₂ [mm²]	i [mm]	J [mm²] × 10⁴	Si [mm]	ø Di [mm]	ø D [mm]	bc [mm]	cb [mm]	ef [mm]	ø De [mm]	ø Df [mm]	e _{qt} [mm]		
70x5	70	5	60	3.848	1.021	23,00	54,240	25	106,3	114,3	110	130	25	150	150	4,0	47	
80x5	80	5	70	5.027	1.178	26,60	83,215	25	106,3	114,3	118	130	25	150	150	4,0	47	
80x7		7	66		1.605	25,90	107,920											
90x5	90	5	80	6.362	1.335	30,10	121,000	25	118,0	127,0	126	130	25	163	162	4,5	47	
90x7		7	76		1.825	29,40	158,300											
90x12		12	66		2.941	27,90	228,920											
100x5	100	5	90	7.854	1.492	33,60	168,810	25	124,0	133,0	129	130	25	172	172	4,5	47	
100x7		7	86		2.045	33,00	222,360											
100x12		12	76		3.318	31,40	327,110											
110x5	110	5	100	9.503	1.649	37,20	227,810	25	142,4	152,4	138	130	25	191	185	5,0	47	
110x7		7	96		2.265	36,50	301,770											
110x12		12	86		3.695	34,90	450,180											
120x5	120	5	110	11.310	1.806	40,70	299,190	25	142,4	152,4	138	130	25	191	192	50,	47	
120x7		7	106		2.485	40,00	398,160											
120x12		12	96		4.072	38,40	600,950											
120x25		25	70		7.461	34,70	900,020											
130x7	130	7	116	13.273	2.705	43,50	513,900	25	157,1	168,3	147	130	25	207	206	5,6	47	
140x7	140	7	126	15.394	2.925	47,10	648,510	25	166,6	177,8	150	130	25	219	220	5,6	47	
140x22		22	96	8.156	42,40	1.468,820												

Figura B.14. Dimensiones del pistón.



El pistón seleccionado se puede ver en la figura B.16. La nomenclatura seguida se detalla en la figura B.15,

Lp	Longitud del cilindro comprimido	mm
Di	Diámetro interno del cilindro	mm
D	Diámetro externo del cilindro	mm
De	Diámetro externo de la unión	mm
d	Diámetro externo del vástago	mm
di	Diámetro interno del vástago	mm
e _{ext}	Espesor del cilindro	mm
e	Espesor del vástago	mm
Si	Cota inicial vástago	mm
bc	Distancia entre eje cilindro y eje del paracaídas	mm
ef	Distancia entre la cabeza del cilindro y vástago	mm
gh	Distancia entre la cabeza del cilindro y la VP	mm
X	Distancia entre placa y vástago	mm
A	Espesor placa fondo	mm

Figura B.15. Nomenclatura.

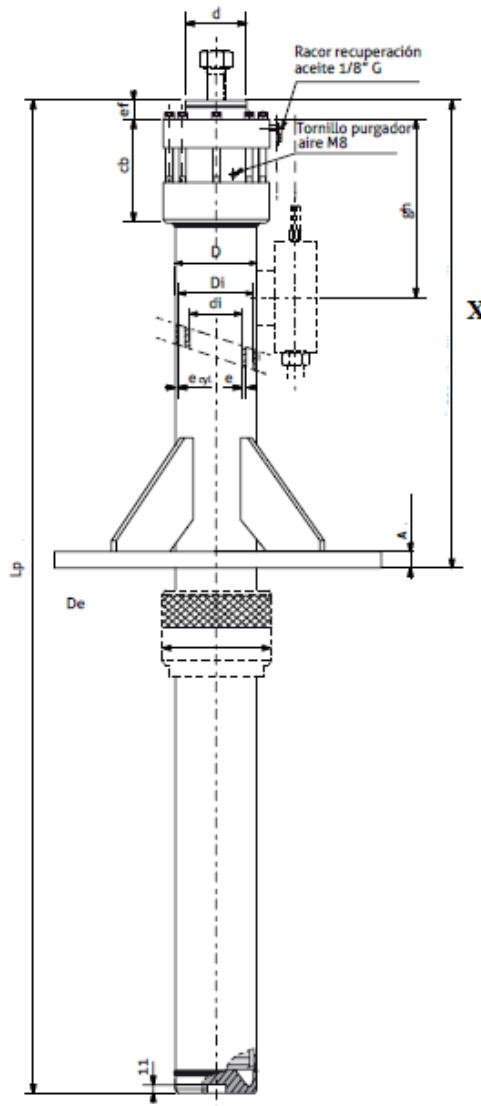


Figura B. 16. Cotas cilindro.

Las especificaciones del fabricante, dan para el tipo de cilindro escogido las siguientes dimensiones para el fondo del cilindro.

Tipo	Vástago				
	e1 [mm]	u1 [mm]	H1 [mm]	r1 [mm]	s1 [mm]
70	30	8	29	6	6,40
90	30	8	29	6	6,25
100	30	8	29	6	6,75
110	30	8	29	6	7,20
120	30	8	29	6	7,20
130	30	8	29	6	9,65
140	30	8	29	6	8,40

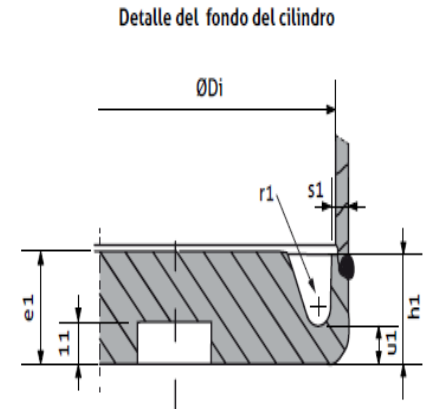


Figura B.17. Dimensiones del fondo.

Para el resto de dimensiones que quedan por definir el fabricante da unas fórmulas para que se establezcan las dimensiones del cilindro. Estas son:

- L_p : Longitud del cilindro comprimido.

$$L_p = Carrera + 160 \text{ mm} = 4300 + 160 = 4460 \text{ mm.} \quad (\text{B.67})$$

- X : Distancia entre placa y vástago.

$$X = 1600 \text{ mm} \quad (\text{B.68})$$

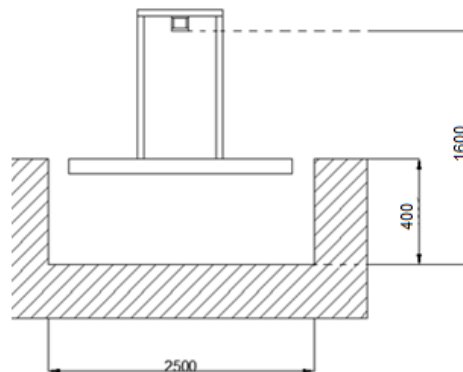


Figura B.18. Ubicación del cilindro.



Dado el sistema de elevación empleado, el cilindro tiene que estar metido bajo el suelo, esta distancia es calculada a través de:

$$L_{enterrada} = L_p - X = 2860 \text{ mm} \quad (\text{B.69})$$

- gh: Distancia entre la cabeza del cilindro y la VP (válvula paracaídas).

$$gh = 250 \text{ mm}. \quad (\text{B.70})$$

- A: Espesor placa fondo.

$$A = 35 \text{ mm} \quad (\text{B.71})$$

Las medidas de la placa son:

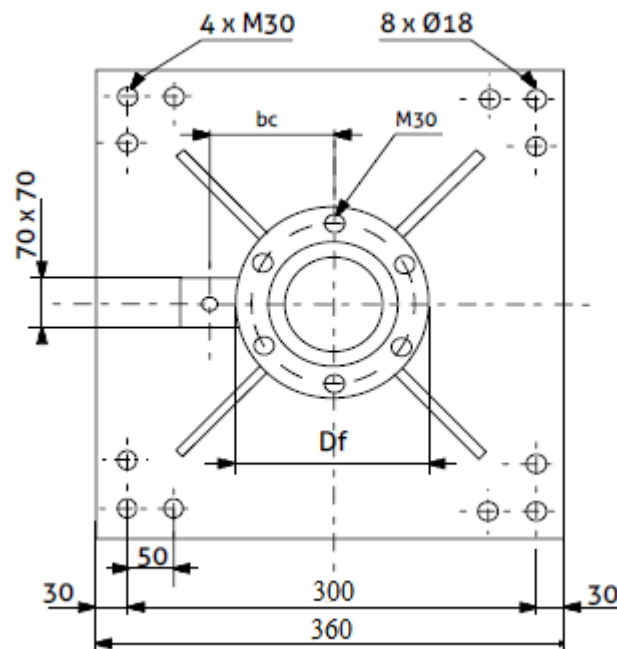


Figura B.19. Dimensiones de placa fijación.



B.4.1.5. Comprobaciones según norma EN 81-3.

Una vez se tienen todos los datos del cilindro a colocar, ahora se comprobará que las dimensiones constructivas del pistón cumplen con las condiciones necesarias especificadas en la normativa.

Comprobación de resistencia a presión.

Se comprueba que el émbolo soporta las condiciones de presión existentes en la instalación.

La presión estática soportada por el émbolo a plena carga es,

$$p = \frac{(Q+Q_b+Q_1)+Q_2}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \quad (\text{B.72})$$

Al tener determinadas las dimensiones del pistón, ya se puede calcular su peso, siendo

$$Q_2 = (4.3m) * \left(25 \frac{kg}{m}\right) = 107.5 \text{ kg} \quad (\text{B.73})$$

Sustituyendo valores en la ecuación B.72,

$$p = \frac{(3000+525+10)+107.5}{\frac{\pi \cdot 130^2}{4}} * 10 \left(\frac{m}{s^2}\right) = 27.44 \approx 27.5 \text{ bar} \quad (\text{B.74})$$

-El espesor mínimo requerido en el vástago es:

$$e_{min} = \frac{2.3 \cdot 1.7 \cdot p}{R_{p0.2}} * \frac{D}{2} + e_0 = 3.33 \text{ mm} \quad (\text{B.75})$$

donde:

$R_{p0.2}$ = Límite convencional de elasticidad = 275 MPa

e_0 = 0.5 mm según norma.

Como e (7 mm) > e_{min} (3.33mm) Cumple.



-El espesor mínimo requerido en el fondo del cilindro es:

$$e_{1min} = 0.4 * D_i * \sqrt{\frac{2.3 * 1.7 * p}{R_{p0.2}}} + e_0 = 13.43mm \quad (B.76)$$

donde:

$e_0 = 1$ mm según norma.

Como e_1 (30 mm) > e_{1min} (13.43 mm) Cumple.

-El espesor mínimo requerido en el fondo del cilindro (bajo ranura) es:

$$u_{1min} = 1.3 * \left(\frac{D_i}{2} - r_1 \right) * \frac{2.3 * 1.7 * p}{R_{p0.2}} + e_0 = 4.73 \text{ mm} \quad (B.77)$$

donde:

$r_1 \geq 5$ mm

$e_0 = 1$ mm según norma.

Como u_1 (8 mm) > u_{1min} (4.73 mm) Cumple.

Comprobación de resistencia a pandeo.

Se comprueba que el pistón es capaz de soportar el esfuerzo provocado por el peso de la plataforma y demás elementos que soporta. La comprobación se realiza sobre el vástago, ya que es la parte que tiene la menor resistencia a pandeo.



La carga aplicada sobre el pistón en Newton:

$$F_5 = 1.4 * g_N * (Q + Q_b + Q_1) + 0.64 * Q_2 = 49.56 \text{ kN} \quad (\text{B.78})$$

donde:

$$g_N = 10 \text{ m} / \text{s}^2$$

La esbeltez del émbolo es:

$$\lambda = \frac{\text{Carrera}}{i} = \frac{4300 \text{ mm}}{42.50 \text{ mm}} = 101.18 \quad (\text{B.79})$$

Al ser $\lambda > 100$, la carga admisible sobre el pistón es:

$$F_{max} = \frac{\pi^2 * E * J}{2 * (\text{Carrera})^2} = 288.02 \text{ kN} \quad (\text{B.80})$$

donde:

E= módulo de elasticidad del acero= 210 GPa.

Como $F_5 < F_{max}$ también cumple las comprobaciones a pandeo.

B.4.2. CENTRAL HIDRÁULICA.

B.4.2.1. Determinación de la presión de trabajo a suministrar por la bomba.

La presión de trabajo a suministrar por la bomba vendrá dada por la expresión:

$$P_t = \frac{Q_t}{A_p} * 1.1 \quad (\text{B.81})$$

donde:

P_t = presión de trabajo a suministrar por la bomba.

Q_t = carga total de cálculo (3645 kg).

A_p = superficie hidráulica del pistón.



La superficie A_p es:

$$A_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 130^2}{4} = 132.73 \text{ cm}^2 \quad (\text{B.82})$$

Sustituyendo en la ecuación B.76 queda:

$$P_t = \frac{3645}{132.73} * 1.1 = 30.21 \approx 31 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (\text{B.83})$$

B.4.2.2. Determinación del caudal a suministrar por la bomba.

El caudal de la bomba viene dado por:

$$C_d = k * A_p * v \quad (\text{B.84})$$

donde:

C_d = caudal a suministrar por la bomba en litros / min.

A_p = superficie hidráulica del pistón en cm^2 .

v = velocidad deseada del montacargas en m/s.

k = coeficiente de conversión de unidades. Al ser de acción directa su valor es de 6.

La velocidad del montacargas no puede ser superior a 0.3 m/s ya que a la hora de definir el montacargas en el prediseño se tomó como tipo A, por lo que la norma no permite una velocidad superior a la indicada.

Por tanto se toma la velocidad deseada del montacargas $v = 0.25$ m/s.

Entonces se tiene:

$$C_d = 6 * 132.73 * 0.25 = 199.095 \frac{\text{litros}}{\text{min}}. \quad (\text{B.85})$$

Se elige una bomba estándar que proporcione un caudal de 210 litros/min, entonces la verdadera velocidad del montacargas será:

$$v_r = \frac{C_d}{6 * A_p} = \frac{210}{6 * 132.73} = 0.26 \text{ m/s} \quad (\text{B.86})$$



B.4.2.3. Cálculo de la potencia máxima del motor absorbida a plena carga.

La potencia máxima del motor absorbida a plena carga, a proporcionar por la bomba será:

$$P = \frac{C_d * P_t}{450 * \eta_T} \quad (B.87)$$

donde:

P = potencia en CV.

C_d = caudal proporcionado por la bomba en litros/ min.

P_t = presión de trabajo en kg/ cm².

η_T = rendimiento total de la bomba.

Se supone un rendimiento de la bomba del 80%. Por tanto:

$$P = \frac{210 * 31}{450 * 0.8} = 18.08 \text{ CV.} \quad (B.88)$$

Se elegirá por tanto un motor que tenga más de 17.22 CV, el cual irá acoplado a la bomba y sumergido en el depósito de aceite a fin de obtener el menor nivel de ruido.

B.4.2.4. Determinación del volumen de aceite.

Se conoce el diámetro interior del cilindro (157.1 mm) y el recorrido máximo del pistón es de 4300 mm. De esta manera se puede calcular el volumen de aceite que puede entrar dentro del cilindro.

$$V_1 = A_1 * h_1 \quad (B.89)$$



donde:

V_1 = volumen de aceite en el cilindro.

A_1 = superficie de la sección interior del cilindro.

h_1 = recorrido total del pistón.

Se sustituyen valores en la ecuación B.84,

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 157.1^2}{4} * 4300 = 83.35 * 10^6 \text{ mm}^3 = 83.35 \text{ litros} \quad (\text{B.90})$$

Seguidamente se calcula el volumen de aceite en la conducción, desde la central hidráulica hasta el cilindro. Para ello se hacen las siguientes hipótesis:

-diámetro interior del conducto = 35 mm.

- longitud del conducto = 3000 m.

El volumen será:

$$V_2 = A_2 * h_2 \quad (\text{B.91})$$

donde:

V_2 = volumen de aceite en la conducción.

A_2 = superficie de la sección interior del conducto.

h_2 = recorrido total del conducto.

Se sustituyen valores en la ecuación B.91,

$$V_2 = \frac{\pi \cdot 35^2}{4} * 3000 = 2.886 * 10^6 \text{ mm}^3 = 2.89 \text{ litros} \quad (\text{B.92})$$

Por tanto el volumen máximo en circulación será:

$$V = V_1 + V_2 = 83.35 + 2.89 = 86.24 \text{ litros.} \quad (\text{B.93})$$



Con este dato se establecen las dimensiones mínimas del depósito de aceite, para una capacidad de 100 litros y un volumen de aceite estacionario de 60 litros.

Se opta por la instalación de una central hidráulica, la cual contiene la bomba, el motor y el depósito de aceite. Para su elección se ha de comprobar que esta tenga como mínimo,

- Que la bomba proporcione un caudal de al menos 210 litros/min.
- Que el motor de una potencia de más de 18 CV.
- Que el depósito del aceite tenga una capacidad de 100 litros y un volumen estacionario de 60 litros.

Para la central hidráulica se opta por los productos de la empresa: *MACPUARSA*.

La central elegida tiene las siguientes medidas:



Figura B.20. Vista de central hidráulica.



Al no poseer de cuarto de máquinas, la central hidráulica y el cuadro de maniobra se colocan en un armario tal y como se ve en la figura B.20.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

Depósito de aceite:

La capacidad máxima de aceite en el depósito es de 301 litros, y permite tener una capacidad útil de 208 litros.

La bomba y el motor están insertados en el depósito del aceite para reducir el ruido generado por el movimiento rotativo de los elementos mecánicos.

Bomba de fluido:

La bomba de aceite es de tipo husillo y proporciona un caudal de 210 l/min. Para este caudal, el diámetro del eje es de 32 mm.

Además transmite un bajo nivel sonoro (58-66 dB).

Motor:

Se emplea un motor trifásico de 2 polos para frecuencia de 50 Hz con una potencia de 20 CV (14.7 kW).

El arranque hidráulico será en Estrella-Triángulo. La tensión de trabajo será la de cualquier instalación industrial, 400 V, por lo que la intensidad nominal para el motor es de 31 A, y la intensidad de arranque directo es de 118 A.

Aceite hidráulico:

Se utiliza *Aceite hidráulico biodegradable Árnica S.*

Para nuestra instalación, el aceite empleado es el ISO-68 por su comportamiento óptimo entre 30°C y 70°C, ya que es un rango habitual en el funcionamiento de los equipos hidráulicos.



Las características técnicas del aceite ISO-68 son:

- Grado ISO: 68.
- Índice Viscosidad: 180
- Densidad a 15°C(gr/cc): 0.932
- Punto de congelación(°C): -30°C
- Punto Inflamación(°C): 308°C
- Viscosidad(40°C)(CST): 62
- Viscosidad(100°C)(CST): 11.3

Propiedades:

-Alto poder antidesgaste.

-Resistencia a la formación de depósitos.

-Protección contra la herrumbre y la corrosión.

-Excelente comportamiento frente a materiales utilizados en juntas y retenes.

Balance térmico:

Se presenta a continuación el cálculo del número máximo de conexiones/hora del montacargas hidráulico, con el equipo impulsor MP, para que la temperatura del aceite nunca alcance el valor límite de 70°C, y no se produzca su parada.

La temperatura del lugar donde estará situada la central utilizada en los cálculos y las tablas es de 30°C.

El número de ciclos/ hora es:

$$n = \frac{450000 * (E_1 + E_2 * L_c + E_3 * L_t)}{(P + Q) * (L_r + 3.5)} \quad (B.94)$$



donde:

-E₁: Potencia calorífica de absorción y disipación de la central hidráulica.

Se obtiene de unas tablas proporcionadas por el fabricante. Depende del tipo de unidad de central escogida. Para el caso que nos ocupa, al ser el modelo T2, el valor E₁= 1.152.

-E₂: Potencia calorífica de absorción y disipación del cilindro.

Se obtiene de unas tablas proporcionadas por el fabricante. Depende del diámetro del cilindro. Con un diámetro de 130 mm, el valor de E₂ = 0.394.

-E₃: Potencia calorífica de absorción y disipación de la tubería de conducción.

Se obtiene de unas tablas proporcionadas por el fabricante. Depende del diámetro de la tubería. Con un diámetro de 35 mm, el valor de E₃ = 0.024.

-P: Peso de la plataforma, componentes, cilindro. P=645 kg

-Q: Carga nominal. Q=3000kg.

-L_r: Recorrido del ascensor. L_r= 4m.

-L_c: Longitud cilindro. L_c=4.46m

-L_t: Longitud tubería conducción. L_t= 2m.

Se sustituyen los valores anteriores en la ecuación B.94,

$$n = \frac{450000*(1.152+0.394*4.46+0.024*2)}{(645+3000)*(4+3.5)} = 48\text{conexiones/hora} \quad (\text{B.95})$$

Para que no se supere la temperatura de 70°C en el aceite no se deben realizar más de 48 conexiones/hora, o lo que es lo mismo 24 arranques de motor.



VÁLVULA PARACAÍDAS:

Al circuito hidráulico se le añadirá una válvula paracaídas, cuya función es de componente de seguridad, ya que detendrá el movimiento descendente del montacargas en caso de rotura de la manguera de conexión.

La válvula escogida es VPMP 114 (1 ¼ ") (Pilotada) de la empresa *MACPUARSA*.

Sus dimensiones y geometría se ven en la figura A.111,

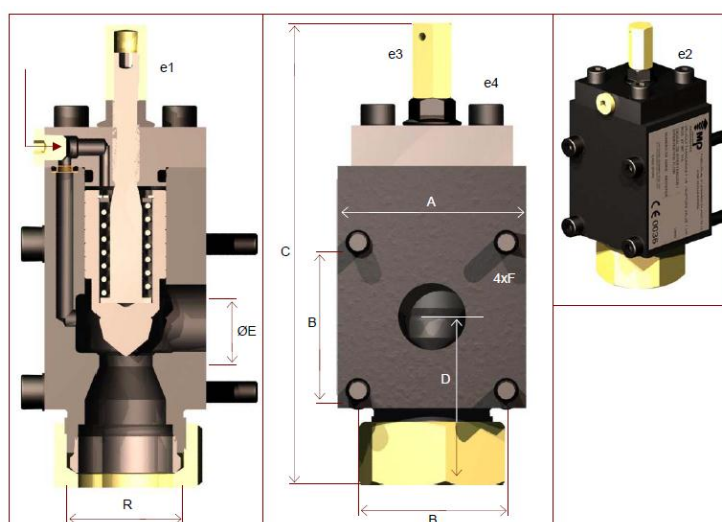


Figura B.21. Válvula paracaídas.

TIPO DE VÁLVULA	Caudal (l/min)		DIMENSIONES (mm)										R	Peso (kg)
	min	máx	A	B	C	D	ØE	ØF	e1	e2	e3	e4		
VP.MP.1 1/4"	40	300	70 x 60	55	172	57	25	9	4	6	14	17	G 1 1/4"	4.5

Figura B.22. Dimensiones válvula paracaídas.

Además de poner la válvula paracaídas, la central hidráulica elegida contiene otras válvulas de seguridad para el mejor funcionamiento del elevador.

En la siguiente figura se muestra el esquema hidráulico de la instalación, proporcionado por el fabricante de la central hidráulica.

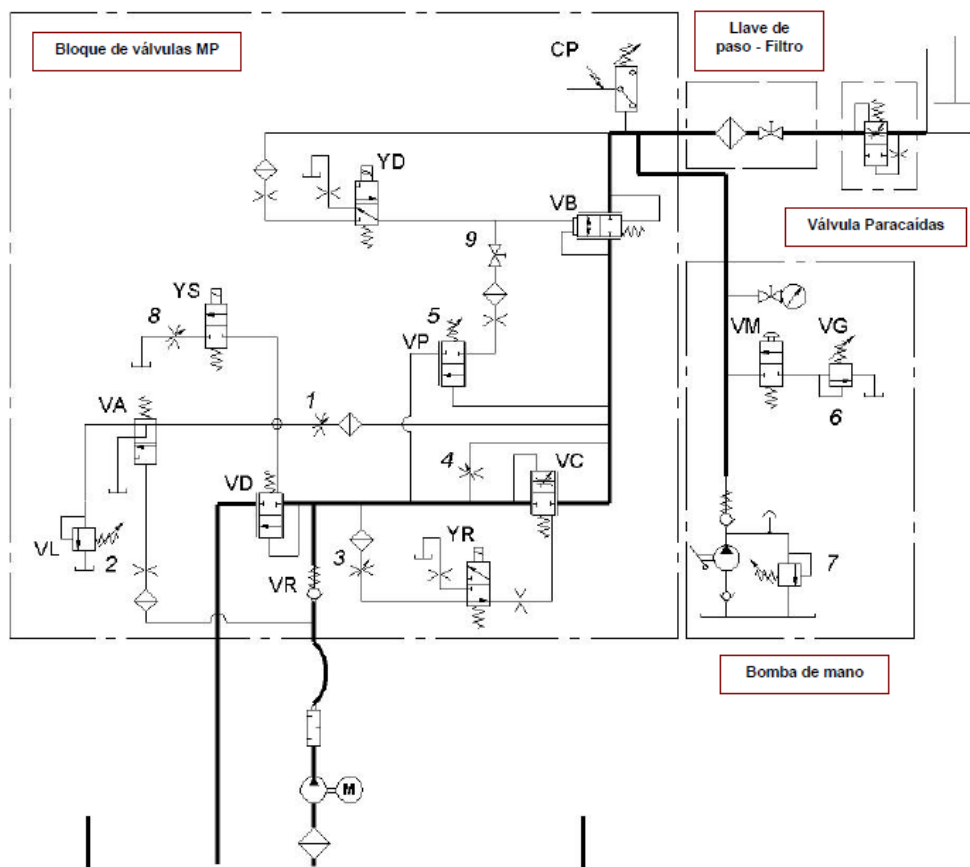


Figura B.23. Esquema hidráulico.

VR. Válvula antirretorno
VA. Válvula de arranque
VD. Válvula de descarga
VC. Válvula reguladora de caudal
VB. Válvula de descenso
YR. Electroválvula de cambio de velocidad
YD. Electroválvula de bajada
YS. Electroválvula de arranque Y- Δ
VP. Compensador de presión en bajada
VL. Válvula de sobrepresión
CP. Presostato de máxima
VM. Válvula de bajada manual
VG. Válvula para controlar presión mínima en cilindro

Tornillo 1: Regulación de la válvula de sobrepresión (presión máxima)
Tornillo 2: Regulación de la aceleración en subida
Tornillo 3: Regulación de la desaceleración subida / bajada
Tornillo 4: Regulación de la velocidad de nivelación
Tornillo 5: Regulación de la velocidad de bajada
Tornillo 6: Regulación limitadora de presión de la bomba manual
Tornillo 7: Regulación de la presión mínima en cilindro
Tornillo 8: Regulación Soft-Stop
Tornillo 9: Tornillo para prueba de válvula paracaídas



B.5. SOPORTE DE LAS GUÍAS.

B.5.1. INTRODUCCIÓN.

Para el soporte de las guías se ha optado por que estas sean soportadas por dos pilares, los cuales estarán anclados al foso mediante unos soportes y además también estarán anclados en el hueco de la planta superior, como se muestra en la figura B.24 y figura B.25.

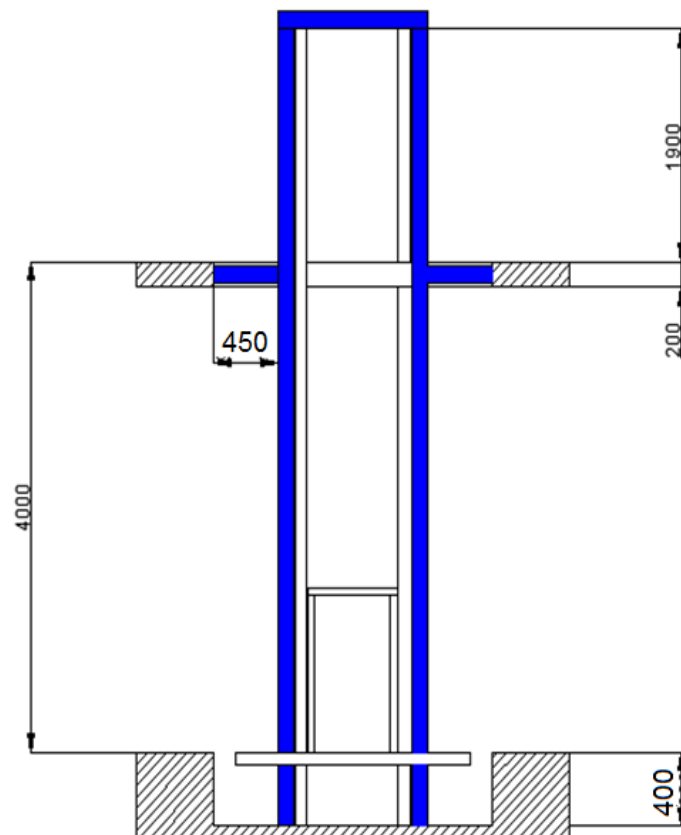


Figura B.24. Pilares para soportar las guías.

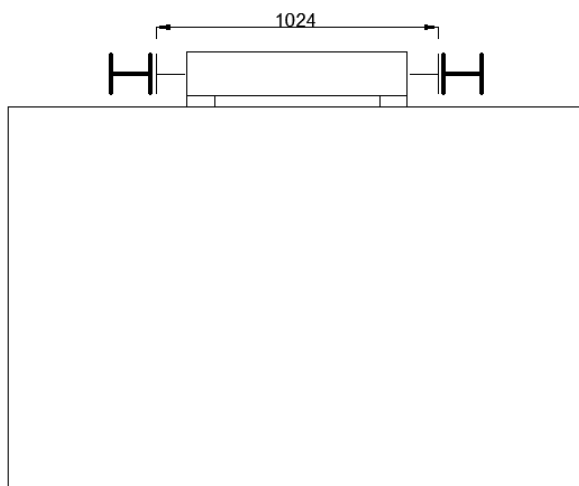


Figura B.25. Vista de posición de los pilares.

Para el dimensionado de los pilares y soportes se usará el programa CYPE. Por tanto la estructura de la figura B.24 es esquematizada como barras y nudos, tal y como se muestra en la figura B.26.

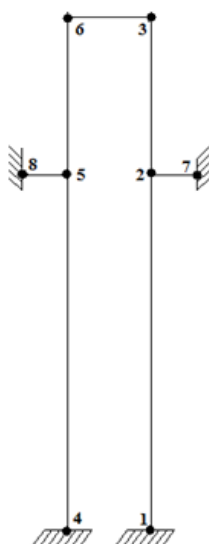


Figura B.26. Esquematización de barras.



Como ya se expresó antes, esta estructura es la encargada de soportar las guías, por lo que los esfuerzos que han de soportar serán los mismos que soportan las guías, es decir, han de ser capaces de soportar las fuerzas y momentos que se generan en la elevación de la plataforma con su carga máxima.

Las fuerzas que la elevación transmite a las guías fueron calculadas en el apartado de “guías” por lo que aquí solo se mostrarán los valores:

$$F_x = 23.6 \text{ kN} \quad (\text{B.96})$$

$$F_y = 12.9 \text{ kN} \quad (\text{B.97})$$

Como hipótesis se toma que estas fuerzas actúan en el extremo de la guía, como se puede ver en la figura B.27,

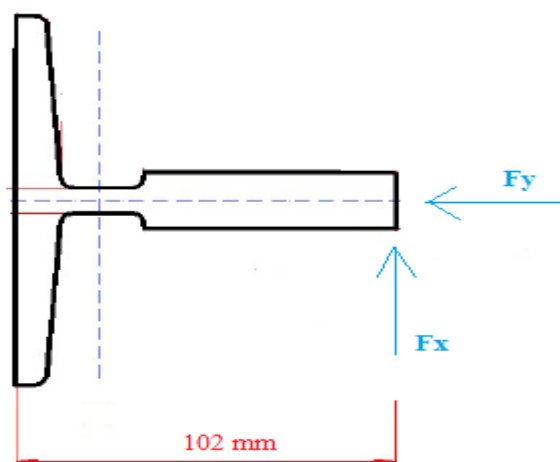


Figura B.27. Cargas sobre la guía.

Además se considera que el pilar al que se anclan las guías, estará centrado con respecto a esta, por lo que se tiene que solo F_x generará momento sobre el pilar. Esta matización se ve más claramente en la figura B.28,

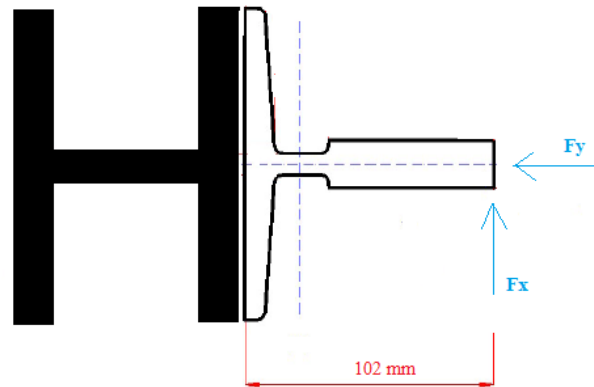


Figura B.28. Posición de la guía respecto al pilar.

Por tanto, el momento sobre la guía será,

$$M = Fx * (0.102 \text{ m}) = 23.6 * 0.102 = 2.41 \text{ kN m} \quad (\text{B.98})$$

Obsérvese, como se puede ver en los planos, que las guías van ancladas a las vigas mediante un sistema de sujeción. En este caso no se han tenido en cuenta, ya que para su elección era necesario saber de cuanto hueco se disponía para anclarlo, es decir se necesitaba saber la longitud del ala de la viga HEB.

Por último solo queda definir donde se aplicarán las cargas. Estas cargas se aplican durante toda la longitud de las guías. El caso más extremo es cuando estas cargas se aplican en el punto más alto de los pilares, o sea, en los nudos 6 y 3 respectivamente.

Determinación de los diagramas de esfuerzos:

Para la obtención de los diagramas, se utiliza el programa CYPE. Al programa se le introduce la estructura simplificada de nudos y barras de la figura B.26, junto con las fuerzas y momentos que actúan sobre los nudos 6 y 3 (ver figuras B.29 y B.30).

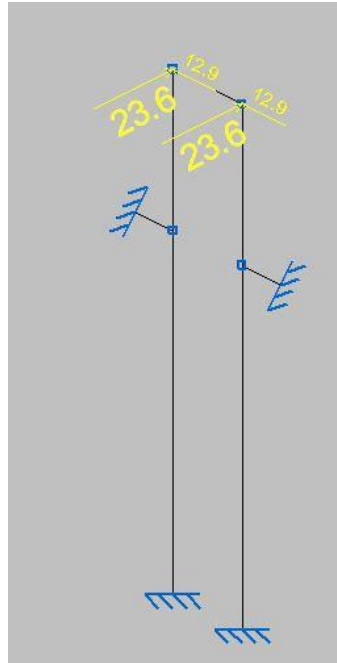


Figura B.29. Fuerzas sobre la zona más crítica.

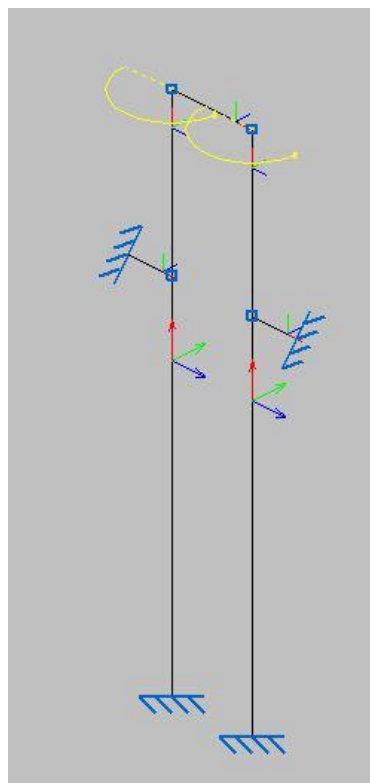


Figura B.30. Momentos sobre la zona más crítica.



Habiéndose ya definido la estructura esquematizada y las cargas sobre estas, ya se pueden generar los diagramas de esfuerzos, definiendo previamente unos perfiles. A continuación se ven los diagramas de esfuerzos del conjunto de la estructura.

Diagrama de axiles:

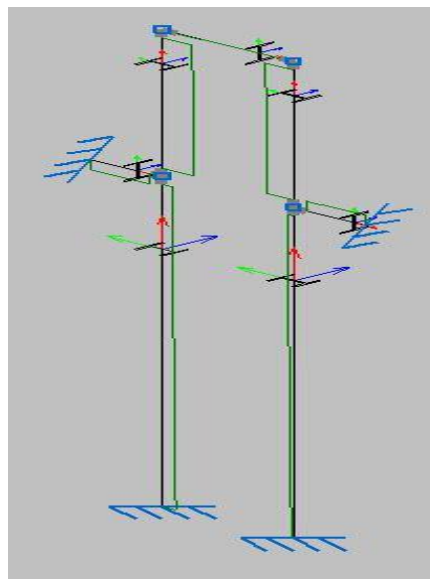


Figura B.31. Diagrama de axiles.

Diagrama de cortante V_y :

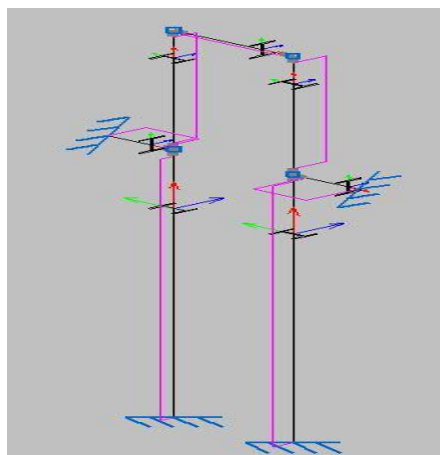


Figura B.32. Diagrama de cortante V_y .



Diagrama de cortante Vz:

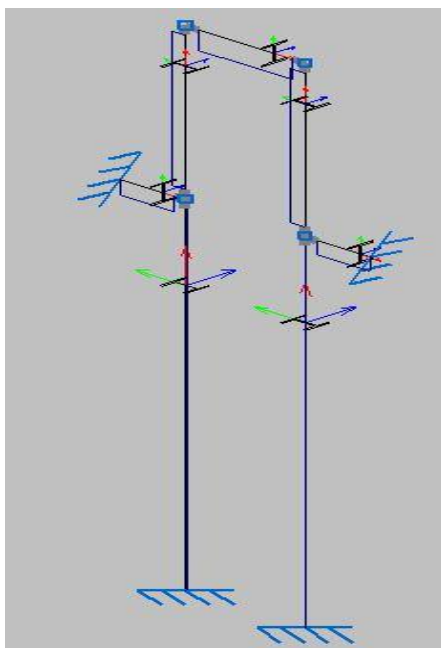


Figura B.33. Diagrama de cortante Vz.

Diagrama de momento torsor:

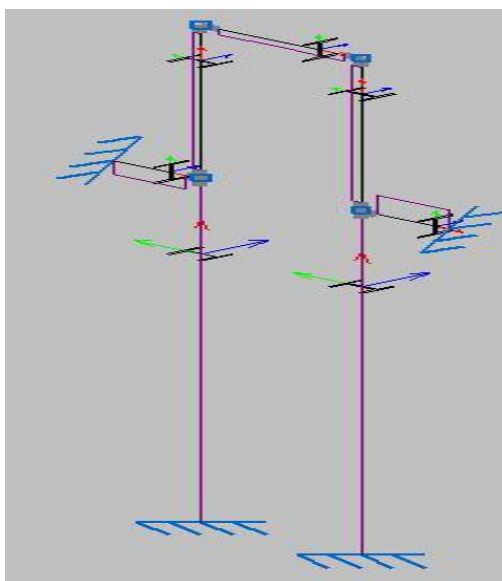


Figura B.34. Diagrama de momento torsor.



Diagrama de momento M_y :

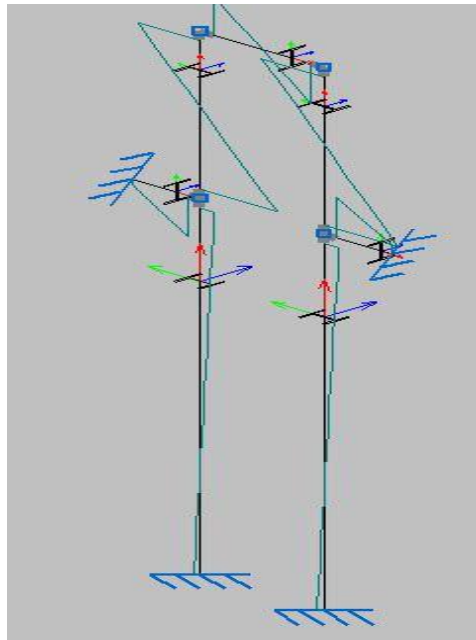


Figura B.35. Diagrama de momento M_y .

Diagrama de momento M_z :

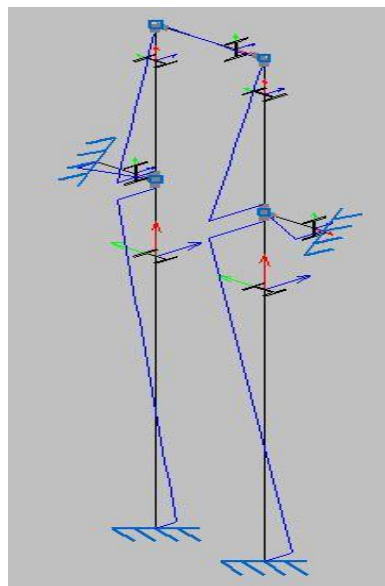


Figura B.36. Diagrama de momento M_z .



El dimensionado de las barras se hace teniendo en cuenta dos consideraciones:

- Se usarán tres tipos de barras:

-Tipo 1: Barra N1-N3, Barra N4-N6.

-Tipo 2: Barra N6-N3.

-Tipo 3: Barra N8-N5, Barra N2-N7.

- A la hora de estudiar las barras solo se hará el estudio de la barra más solicitada de cada tipo. Por tanto se harán 3 estudios.

Con la información anterior y viendo los diagramas de la estructura anteriormente presentados se establece que las barras a estudio son:

-Tipo 1: Barra N1-N3, por poseer unos grandes momentos en la zona donde se une con la viga que se agarra al forjado.

-Tipo 2: Barra N6-N3.

-Tipo 3: Barra N2-N7, al ser la barra 1-3 donde se producen mayores esfuerzos, sobre esta también se darán. (Esta hipótesis se corrobora viendo los diagramas)

Por tanto, se puede comenzar con el dimensionado de los pilares y vigas de atado.



B.5.2.DIMENSIONADO PILAR N1-N3.

B.5.2.1.Diagrama de esfuerzos:

Diagrama de axiles:

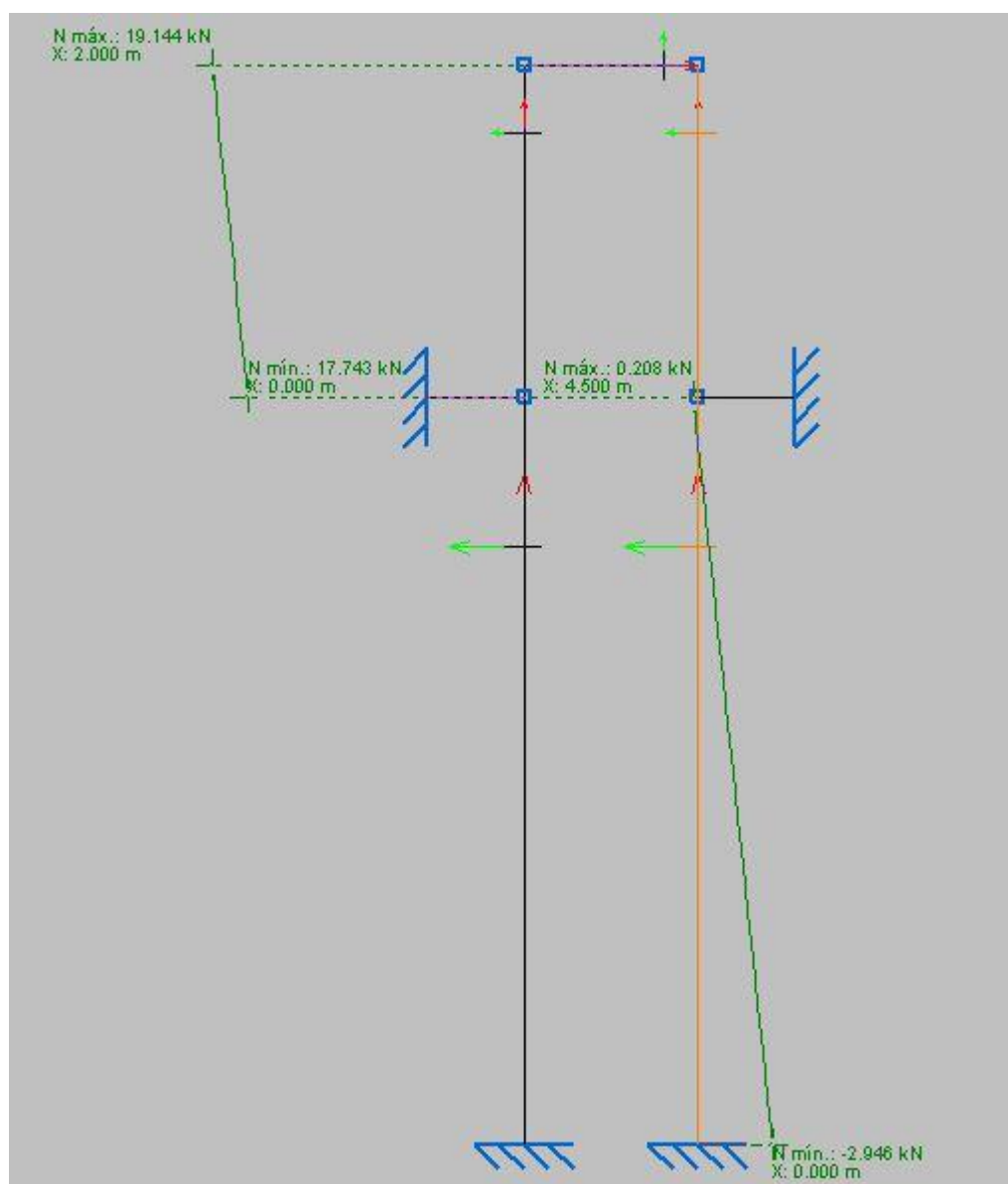


Figura B.37. Diagrama de axiles.



Diagrama de cortante V_y :

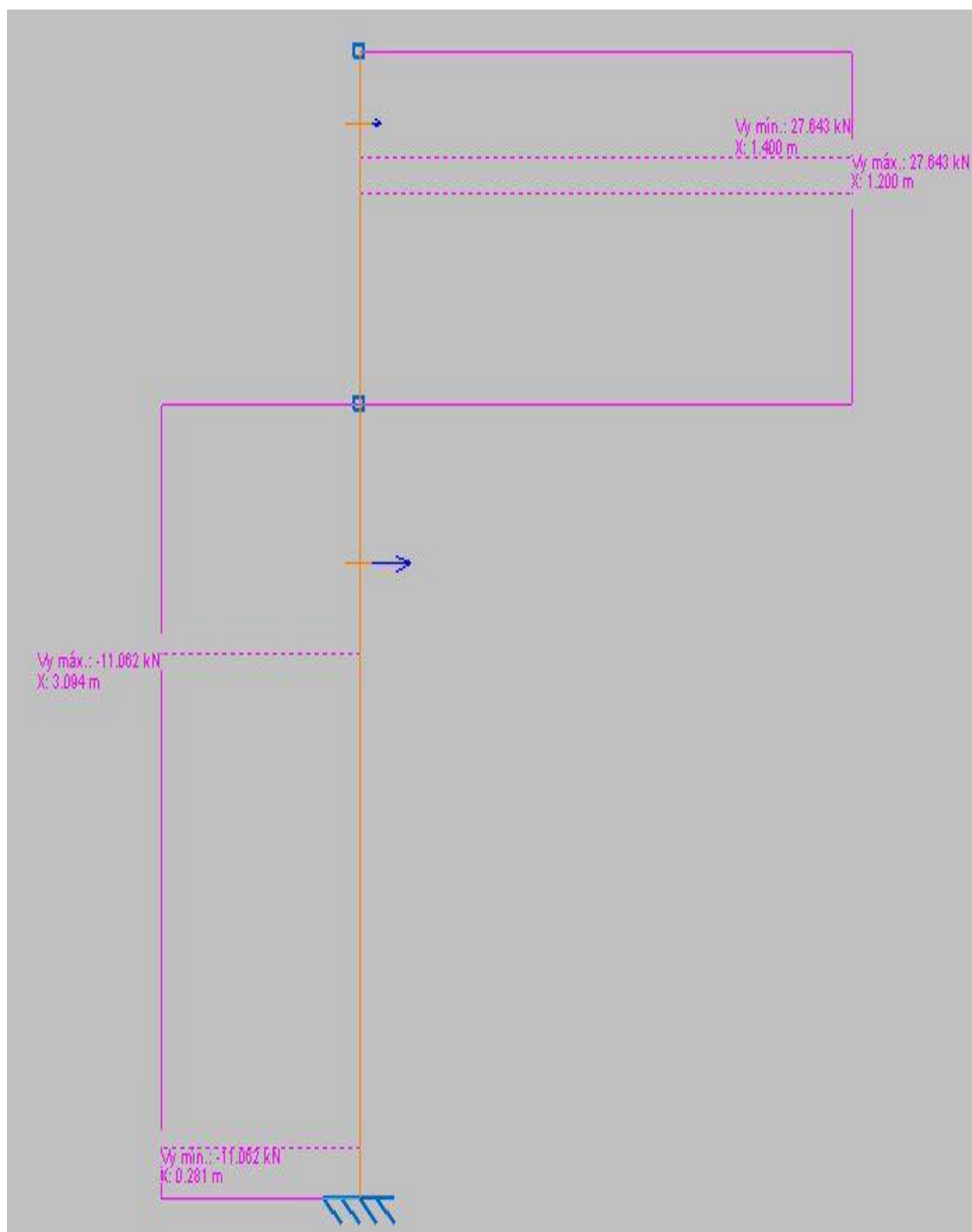


Figura B.38. Diagrama de cortante V_y .

Diagrama de cortante Vz:

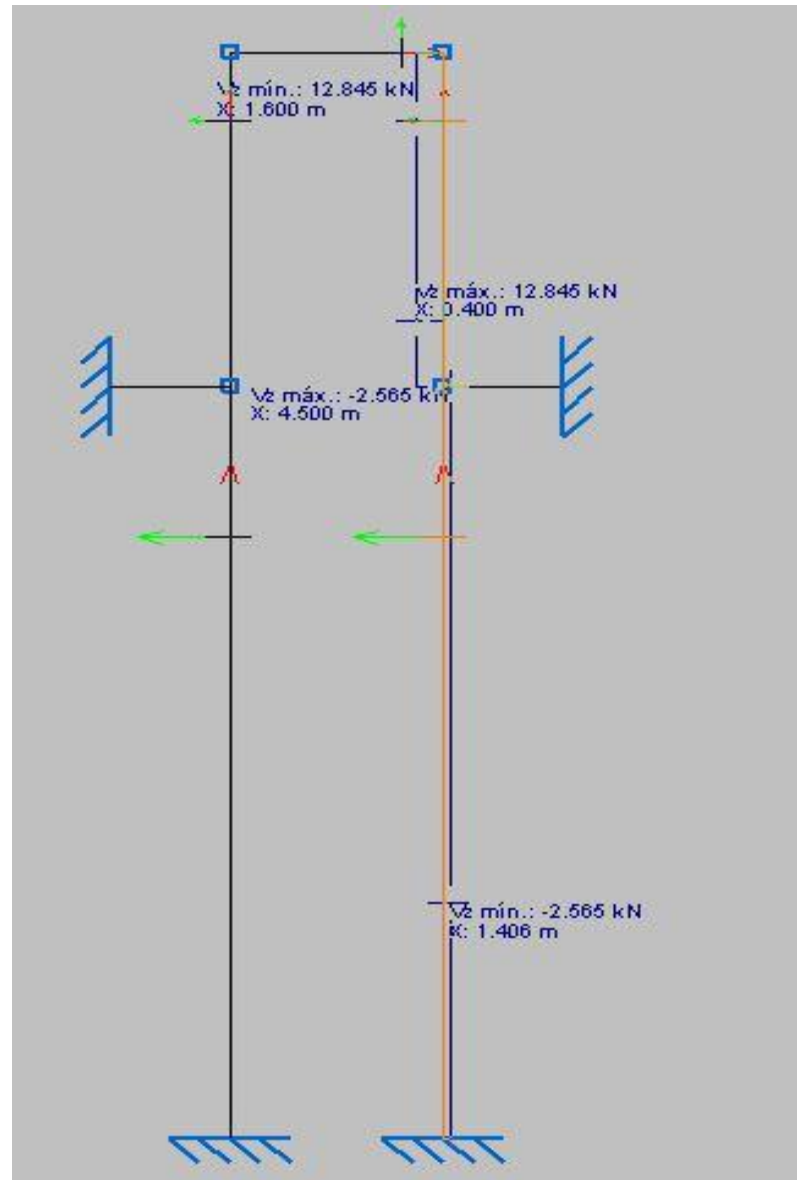


Figura B.39. Diagrama de cortante Vz.



Diagrama de momento torsor.

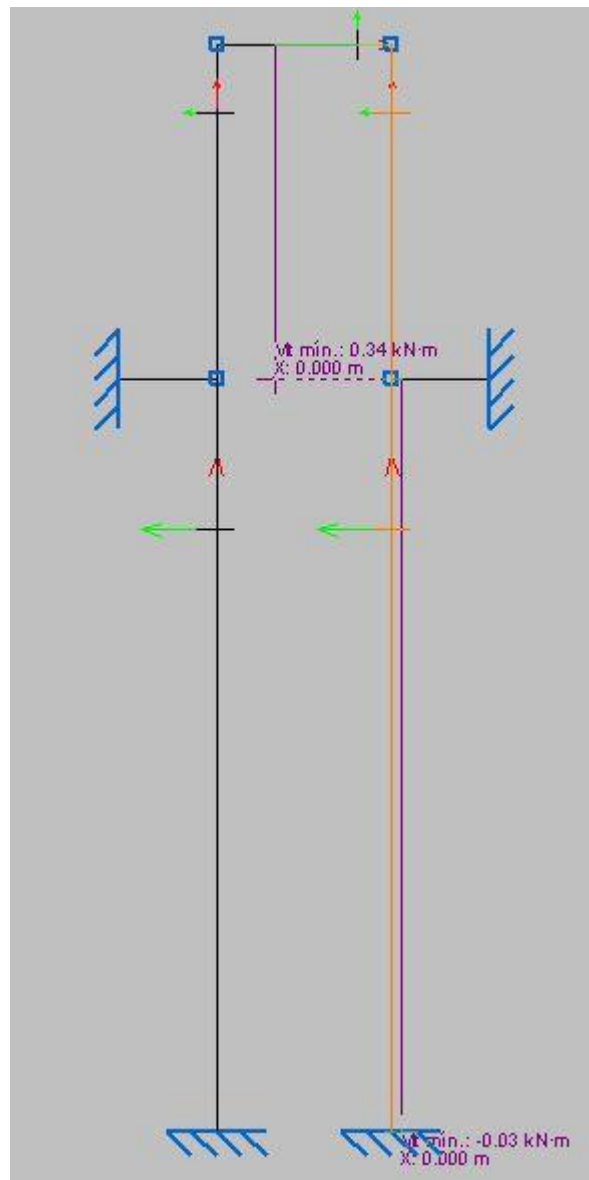


Figura B.40. Diagrama de momento torsor.



Diagrama de momento M_y :

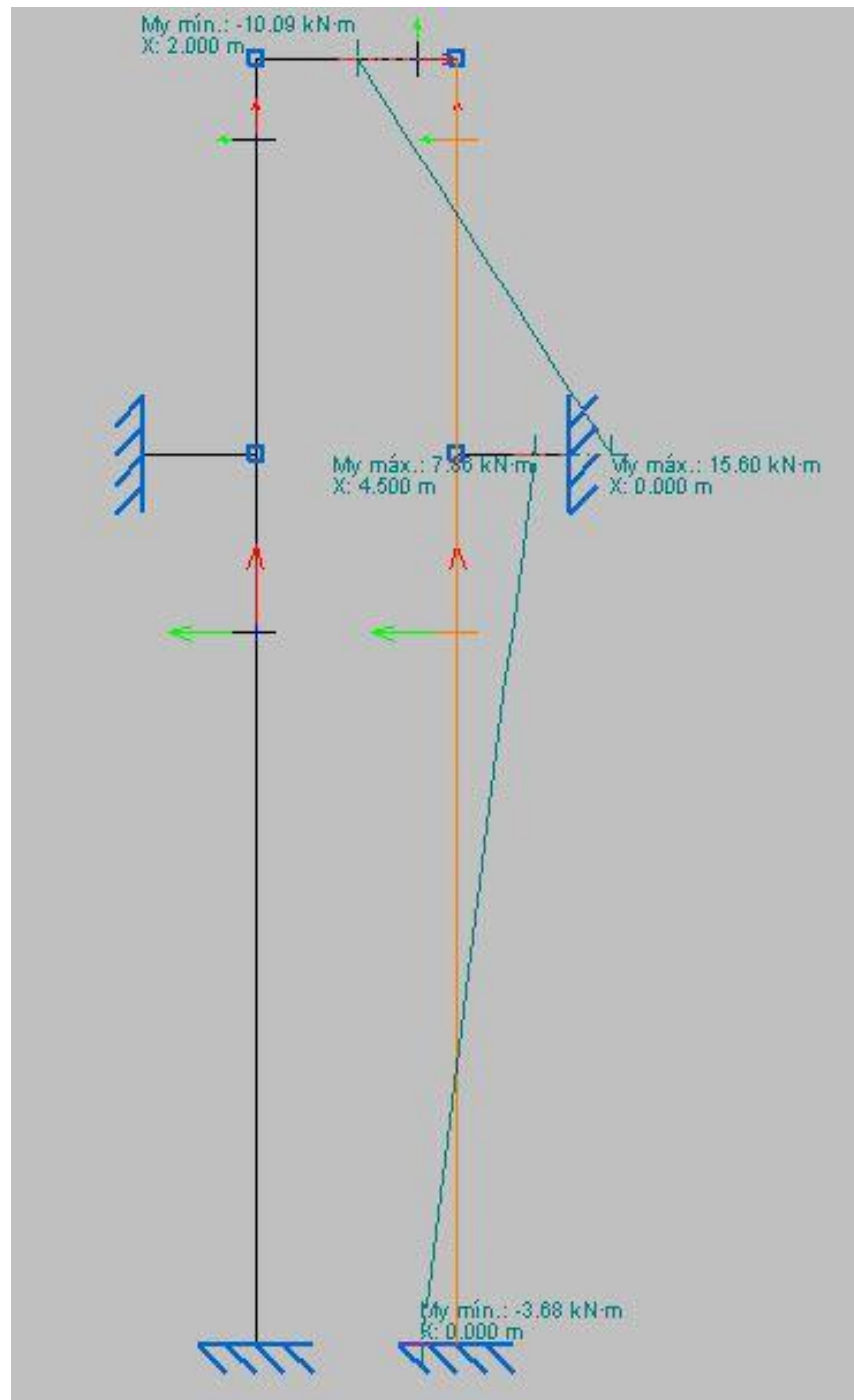


Figura B.41. Diagrama de momento M_y .

Diagrama de momento M_z :

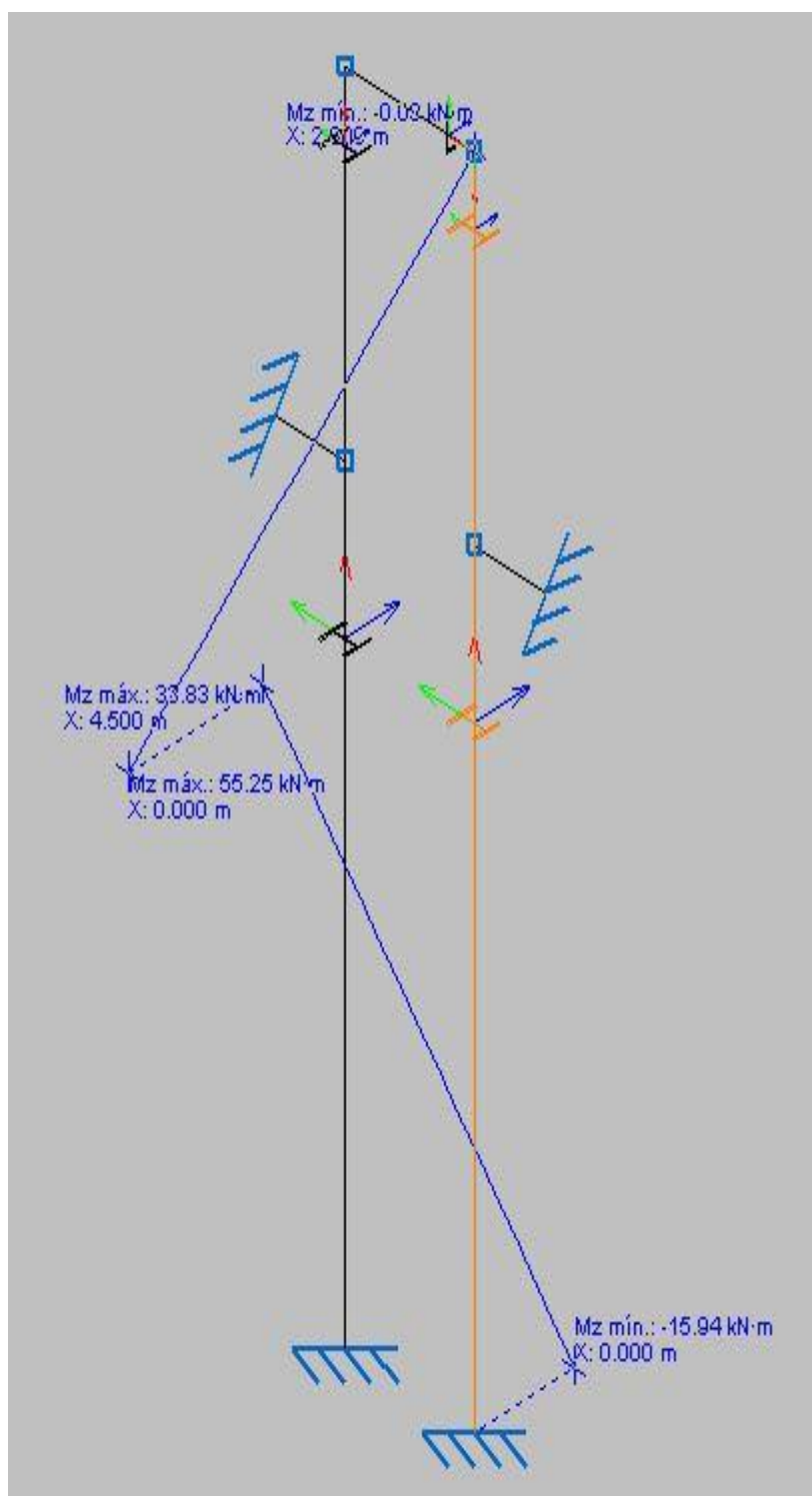


Figura B.42. Diagrama de momento M_z .



B.5.2.2.Elección del perfil.

Observando los diagramas de esfuerzos del pilar se seleccionan los valores máximos de los momentos, siendo para este caso:

$$M_y = 15.60 \text{ kN} * m \quad (B.99)$$

$$M_z = 55.25 \text{ kN} * m \quad (B.100)$$

Se estima que los pilares sean de un acero S450. El dimensionado se hace cogiendo el momento máximo en la barra, que en este caso corresponde con el momento en el eje Z. Luego conociendo el tipo de material y el momento máximo se puede sacar cual será el módulo resistente plástico mínimo que tendrá que tener el perfil.

$$W_z = \frac{M_{max}(N \text{ mm})}{\frac{450}{1.05}} = 128.82 \text{ cm}^3 \quad (B.101)$$

Como la norma obliga a usar un factor de seguridad de 2.5, el módulo que a de tener el perfil es:

$$W_z = 2.5 * 128.82 = 322.05 \text{ cm}^3 \quad (B.102)$$

Para este caso se ha decantado por usar un perfil HE 220 B ya que posee un W_z de 393.9 cm^3 .

B.5.2.3Comprobaciones E.LU.

A continuación se detallan los cálculos realizados para comprobar si el perfil escogido sigue con las normas establecidas por el código técnico de la edificación.



Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras traccionadas no debe superar el valor 3.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{1.71}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{91.00} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{450.0} \text{ MPa}$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{1394.660} \text{ kN}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{3969.12} \text{ kN}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1394.66} \text{ kN}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8091.00} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{2843.00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{76.57} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{295400.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000} \text{ MPa}$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{6.5} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{6.5} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_o : \underline{10.96} \text{ cm}$$

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{9.43} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{5.59} \text{ cm}$$

y_o, z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$



Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.005}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{19.144} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{3900.00} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{91.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{428.6} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{450.0} \text{ MPa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.04}$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{15.6} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{-10.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{354.43} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{827.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{428.6} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{450.0} \text{ MPa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$



Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.33}$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{55.25} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{-15.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{168.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{393.90} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{428.6} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{450.0} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.025}$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{12.845} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{517.14} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{20.90} \text{ cm}^2$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : \underline{220.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{9.50} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{428.6} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{450.0} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$



Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.015}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·G.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{27.643} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{1809.75} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{73.14} \text{ cm}^2$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{91.00} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{188.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{9.50} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{428.6} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{450.0} \text{ MPa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.38}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2.

Donde:

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{19.144} \text{ kN}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{15.6} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{55.25} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{3900.00} \text{ kN}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{354.43} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{168.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.03}$$



$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.34 \text{ kN}\cdot\text{m}$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$M_{T,Rd} : 11.84 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 47.86 \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 428.6 \text{ MPa}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 450.0 \text{ MPa}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

B.5.3.DIMENSIONADO VIGA N6-N3.

B.5.3.1.Diagrama de esfuerzos:

Diagrama de axiles:



Figura B.43. Diagrama de axiles.



Diagrama de cortante V_y :

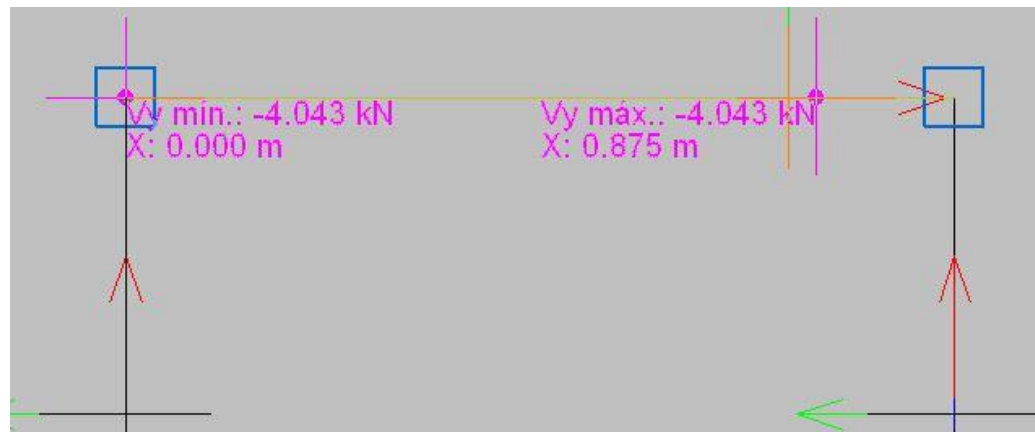


Figura B.44. Diagrama de cortante V_y .

Diagrama de cortante V_z :

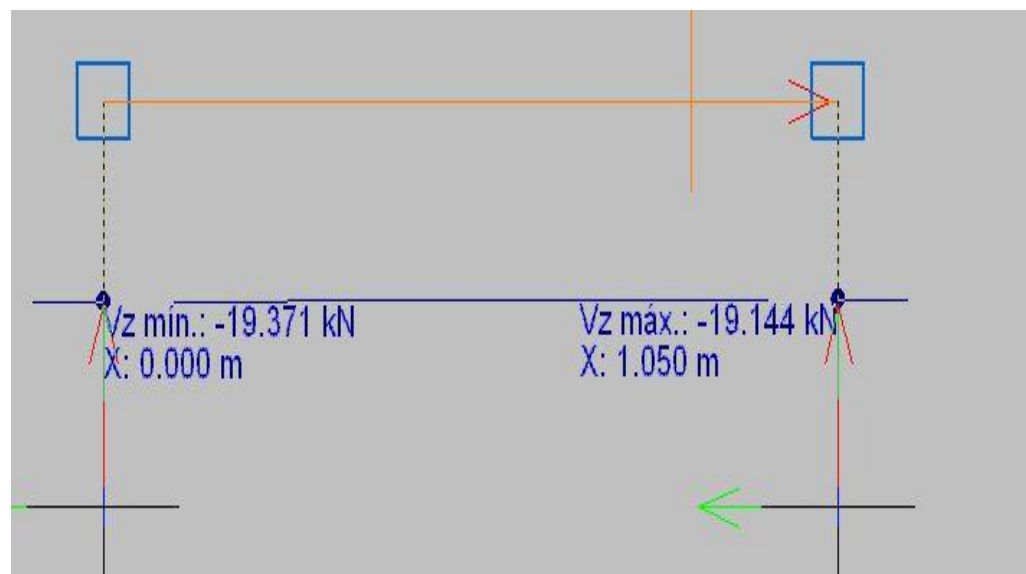


Figura B.45. Diagrama de cortante V_z .



Diagrama de momento torsor:

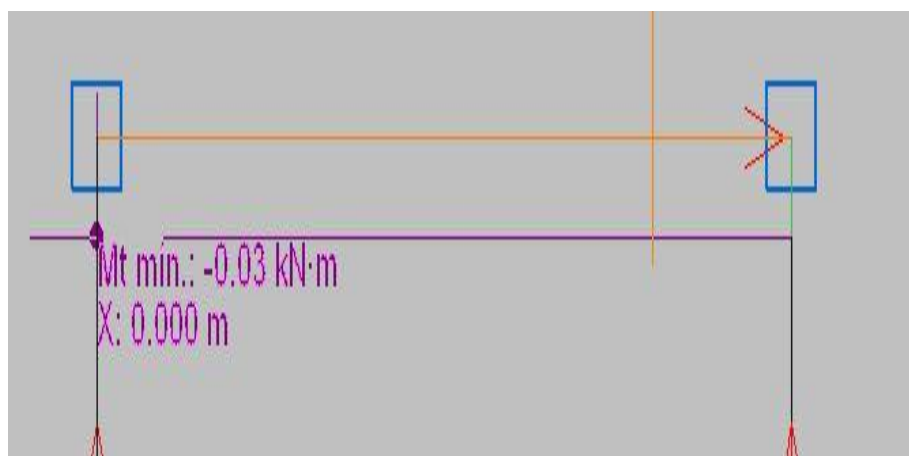


Figura B.46. Diagrama de momento torsor.

Diagrama de momento M_y :

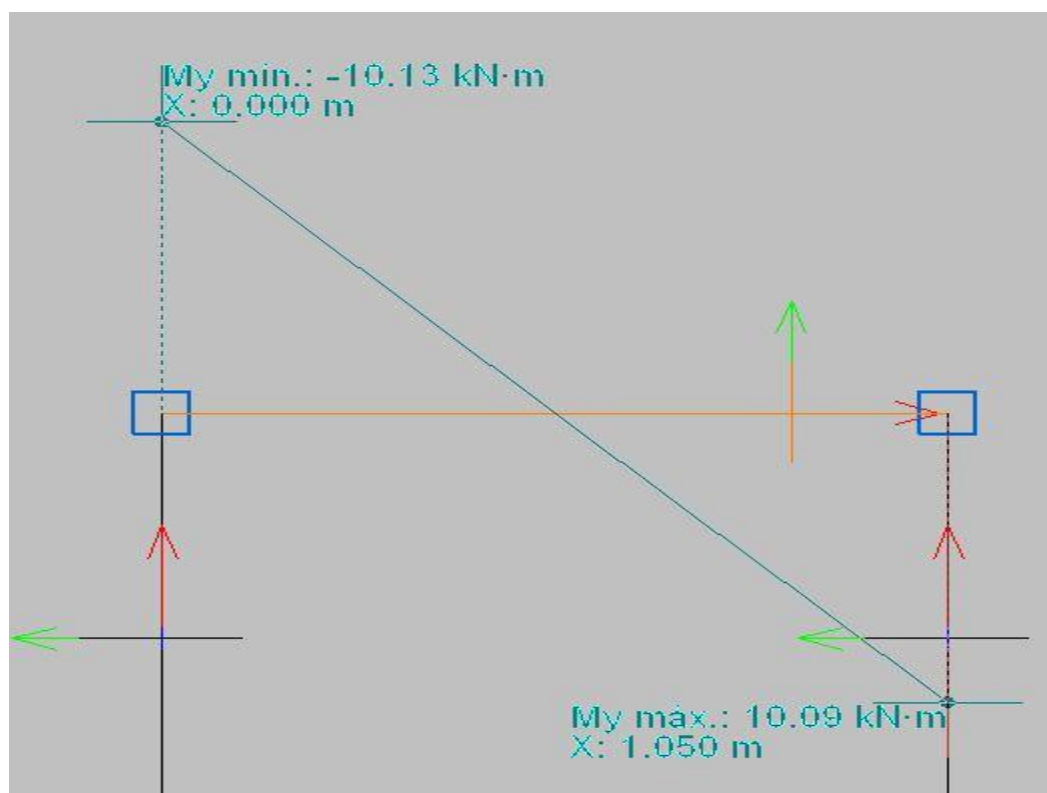


Figura B.47. Diagrama de momento M_y .

Diagrama de momento Mz:

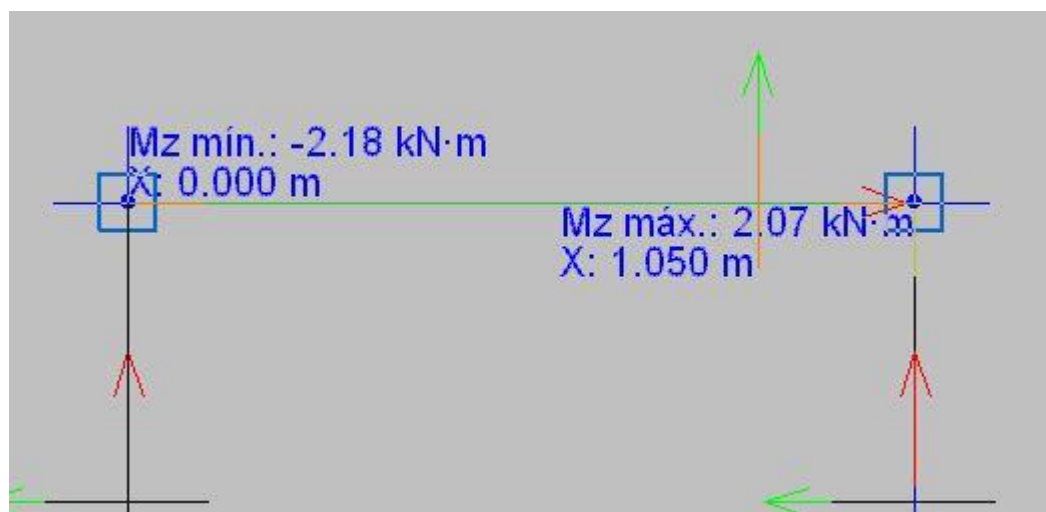


Figura B.48. Diagrama de momento Mz.

B.5.3.2 Elección del perfil.

Observando los diagramas de esfuerzos de la viga se seleccionan los valores máximos de los momentos, siendo para este caso:

$$M_y = 10.13 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (\text{B.103})$$

$$M_z = 2.18 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (\text{B.104})$$

Se estima que la viga sea de un acero S450. El dimensionado se hace cogiendo el momento máximo en la barra, que en este caso corresponde con el momento en el eje Y. Luego conociendo el tipo de material y el momento máximo se puede sacar cual será el módulo resistente plástico mínimo que tendrá que tener el perfil.

$$W_y = \frac{M_{\max}(\text{N} \cdot \text{mm})}{\frac{450}{1.05}} = 23.64 \text{ cm}^3 \quad (\text{B.105})$$



Introduciendo un factor de seguridad de 2.5, el módulo que a de tener el perfil es:

$$W_y = 2.5 * 23.64 = 59.1 \text{ cm}^3 \quad (\text{B.106})$$

Para este caso se ha decantado por usar un perfil UPN 180.

B.5.3.3.Comprobaciones E.LU.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.13}$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{10.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N6.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{10.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{76.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{179.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{428.6} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{450.0} \text{ MPa}$$

γ_{m0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{m0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.12}$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{2.07} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N6.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{2.18} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{18.39} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 179.00 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 428.6 MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 450.0 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.26

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N6.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: -- kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}$: 10.13 kN·m

$M_{z,Ed}$: 2.07 kN·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd}$: -- kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y}$: 76.71 kN·m

$M_{pl,Rd,z}$: 18.39 kN·m

B.5.4.DIMENSIONADO VIGA N2-N7.

B.5.4.1.Diagrama de esfuerzos:

Diagrama de axiles:

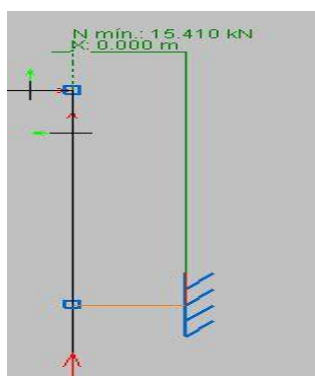


Figura B.49. Diagrama de axiles.



Diagrama de cortante V_y :

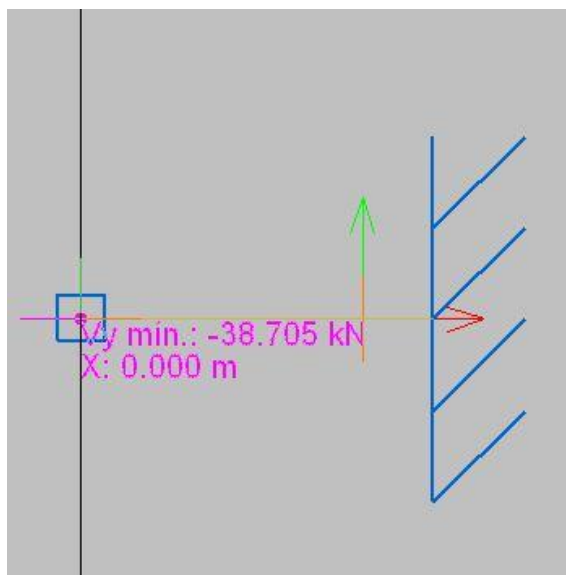


Figura B.50. Diagrama de V_y .

Diagrama de cortante V_z :

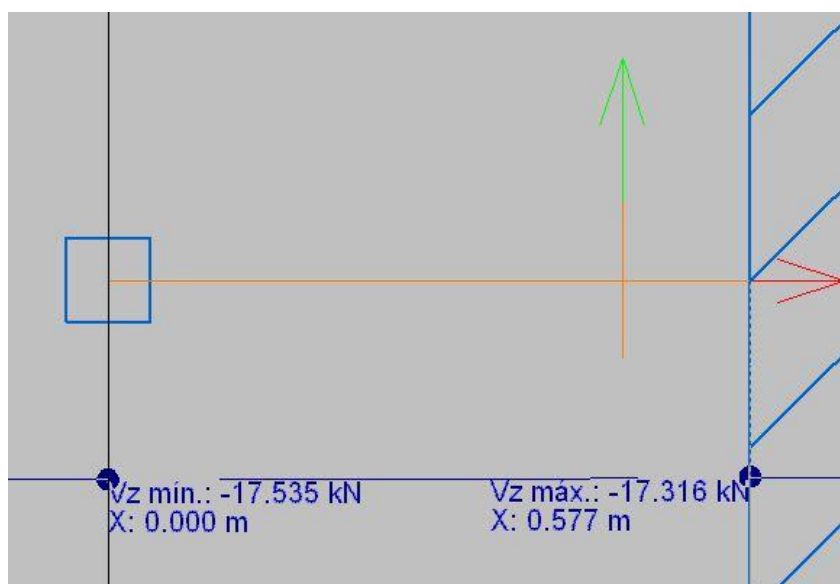


Figura B.51. Diagrama de cortante V_z .



Diagrama de momento M_y :

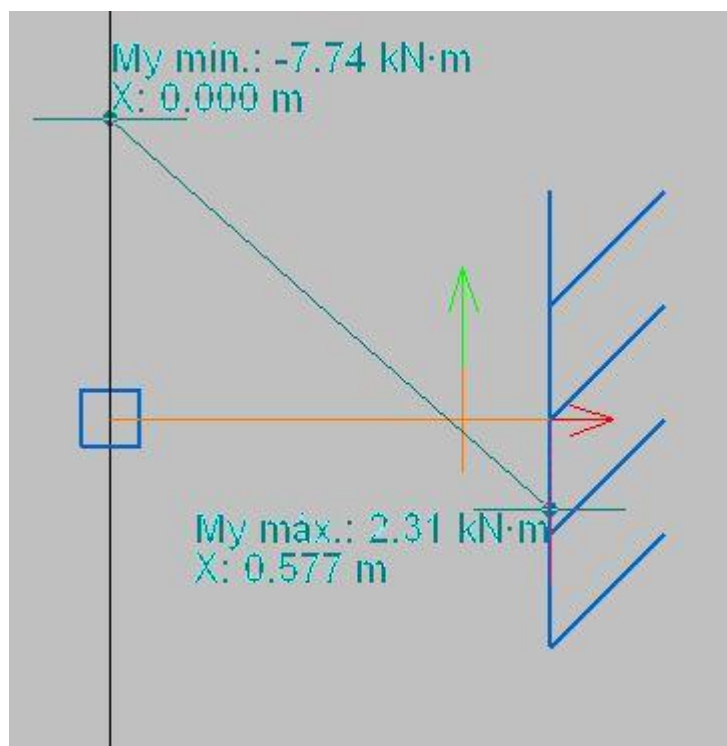


Figura B.52. Diagrama de momento M_y .

Diagrama de momento M_z :

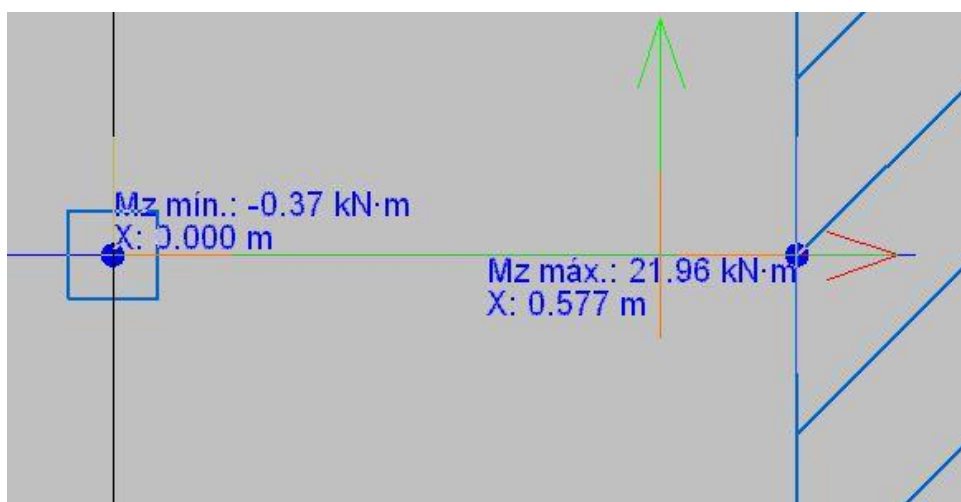


Figura B.53. Diagrama de momento M_z .



B.5.4.2. Elección del perfil.

Observando los diagramas de esfuerzos de la viga se seleccionan los valores máximos de los momentos, siendo para este caso:

$$M_y = 7.74 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (\text{B.107})$$

$$M_z = 21.96 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (\text{B.108})$$

Se estima que los tirantes sean de un acero S450. El dimensionado se hace cogiendo el momento máximo en la barra, que en este caso corresponde con el momento en el eje Z. Luego conociendo el tipo de material y el momento máximo se puede sacar cual será el módulo resistente plástico mínimo que tendrá que tener el perfil.

$$W_z = \frac{M_{\max} (\text{N} \cdot \text{mm})}{\frac{450}{1.05}} = 51.24 \text{ cm}^3 \quad (\text{B.109})$$

Como la norma obliga a usar un factor de seguridad de 2.5, el módulo que a de tener el perfil es:

$$W_z = 2.5 \cdot 51.24 = 128.1 \text{ cm}^3 \quad (\text{B.110})$$

Para este caso se ha decantado por usar un perfil cuadrado 120 x 10.

B.5.4.3 Comprobaciones E.L.U.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.008}$$

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 15.41 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd}$: 1827 kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase: 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A: 40.6 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 428.6 MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 450.0 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05



Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.11}$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{2.31} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{7.74} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{70} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{162} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{428.6} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{450.0} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.32}$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{21.96} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{70} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{162} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{428.6} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{450.0} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$



Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{\underline{0.35}}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N7.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$\underline{\underline{N_{c,Ed} : 15.41 \text{ kN}}}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\underline{\underline{M_{y,Ed} : 2.31 \text{ kN}\cdot\text{m}}}$$

$$\underline{\underline{M_{z,Ed} : 21.96 \text{ kN}\cdot\text{m}}}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\underline{\underline{Clase : 1}}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$\underline{\underline{N_{pl,Rd} : 1827 \text{ kN}}}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\underline{\underline{M_{pl,Rd,y} : 70 \text{ kN}\cdot\text{m}}}$$

$$\underline{\underline{M_{pl,Rd,z} : 70 \text{ kN}\cdot\text{m}}}$$

B.5.5. CONCLUSIONES.

Al estar todas las comprobaciones de acuerdo con el criterio exigido de tener un factor de seguridad de 2.5, se puede afirmar que los perfiles seleccionados y la disposición tomada es válida para el proyecto objeto de estos cálculos.



ÍNDICE:

ANEJO C: CÁLCULOS III.....	1
C.1.CERRAMIENTO DEL MONTACARGAS.....	1
C.1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
C.1.2. PUERTAS BATIENTES.....	1
C.1.3. ESTRUCTURA DEL CERRAMIENTO.....	20
C.2. CÁLCULO DE AMORTIGUADORES.....	30
C.2.1. INTRODUCCIÓN.....	30
C.2.2. DIMENSIONADO.....	30
C.3. ESPECIFICACIONES DE LOS ACEROS EMPLEADOS.....	40
C.4. COMPONENTES ELÉCTRICOS DE SEGURIDAD.....	42



ANEJO C: CÁLCULOS III.

C.1.CERRAMIENTO DEL MONTACARGAS.

C.1.1. INTRODUCCIÓN.

En este apartado se detallan los cálculos realizados para el dimensionamiento del cerramiento exterior del montacargas. Este es realizado para establecer una seguridad en el espacio de trabajo del montacargas objeto de diseño, impidiendo que objetos no deseados entren dentro de la trayectoria recorrida por la plataforma elevadora.

Debido al tipo de montacargas escogido, tipo A (según norma, ya que no se sobrepasa una velocidad nominal de 0.3 m/s y no se recorre una distancia superior a 12 m.), el cerramiento no será de alma llena, consistiendo este en una estructura de perfiles metálicos recubierta de malla electrosoldada.

Además, sobre esta estructura estarán colocadas dos puertas batientes para permitir el paso hacia el interior del montacargas. Estas serán también de perfiles metálicos y recubiertas de malla electrosoldada. Estas puertas tendrán un cierre eléctrico de seguridad, para prevenir que las puertas sean abiertas durante el movimiento del montacargas.

A continuación se muestra el procedimiento seguido para el dimensionado de la estructura del cerramiento y las puertas.

C.1.2. PUERTAS BATIENTES.

Como se ha detallado en el párrafo anterior, la entrada a la plataforma elevadora estará custodiada por una puerta batiente, con cierre de malla, de dos hojas.

El esquema que se ha seguido para el diseño de la plataforma ha sido el siguiente, sabiendo que las medidas de la plataforma son de 2.1 metros, y estableciendo que la altura de una puerta de almacén en un supermercado es superior a los 2 metros, por lo que se considera tener puertas de 2,2 metros.



En el la figura C.1 se puede ver el esquema seguido para las puertas. En esta se ha representado solo una hoja, ya que la otra es idéntica. Los rectángulos en rojo representan donde irá a priori las bisagras. Se ha optado por un diseño básico de puerta pero funcional, con una disposición rígida para que aguante con firmeza el uso continuado del montacargas.

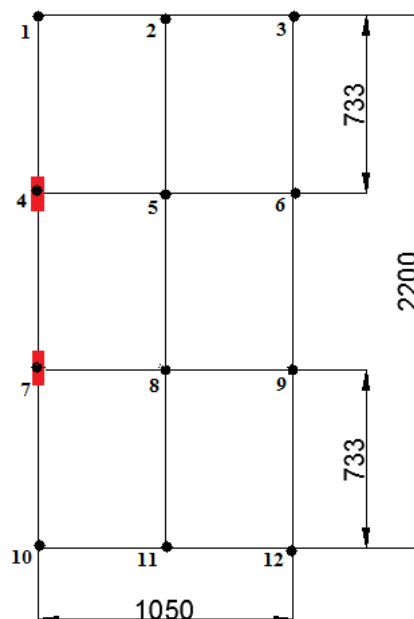


Figura C.1. Esquema de una hoja de la puerta para su dimensionamiento.

Una vez se tiene el esquema a seguir, solo queda definir a que esfuerzos se verá sometida la puerta durante su uso diario.

Siguiendo las indicaciones de la norma, está debe ser capaz de soportar una fuerza de 300 N sin deformación permanente y con una deformación elástica inferior a 15 mm en cualquier punto, cuando estén cerradas.

La cerradura de la puerta estará compuesta por el dispositivo de enclavamiento, el cual es el encargado de evitar que las puertas se abran mientras el elevador este funcionando. Este estará situado en el nudo 3 (ver figura C.1), ya que en ese punto se encuentra situado fuera del alcance de una persona, evitando así su mal uso deliberado.



Para el dimensionado se usarán perfiles cuadrados, y dos tipos distintos. Un tipo para generar el marco de la puerta, y el otro para las barras interiores, encargadas de dar rigidez al marco y hacer que la malla electrosoldada no quede muy holgada.

Para estudiar la puerta se aplicará la carga de 300 N en el punto más desfavorable de esta, es decir, en este caso en el nudo 12, aplicada en un ángulo recto. (ver figura C.2).

Sobre la puerta se sitúan la malla electrosoldada y el dispositivo de enclavamiento. El peso de estos se desprecia para el cálculo de la estructura, ya que se usará un factor de 2.75.

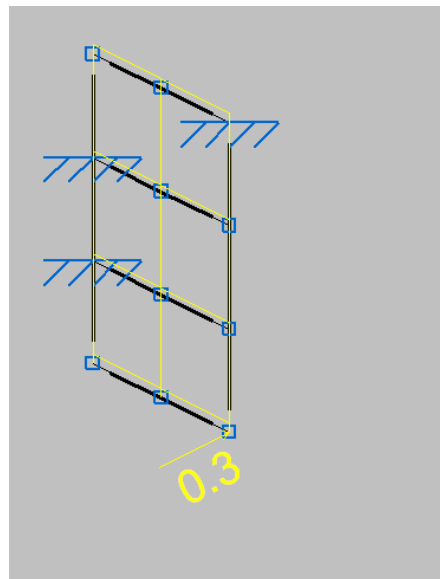


Figura C.2. Carga de 300 N en el punto más desfavorable.

Una vez se tiene la estructura y la carga a soportar definida en el programa CYPE, se generan los diagramas de esfuerzos generales en toda la puerta.



Diagrama de axiles:

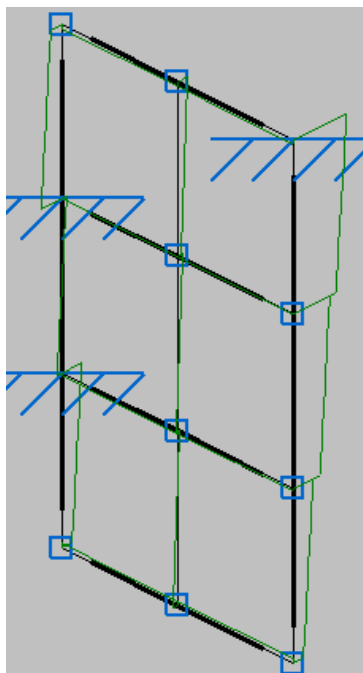


Figura C.3. Diagrama de axiles.

Diagrama de cortante V_y :

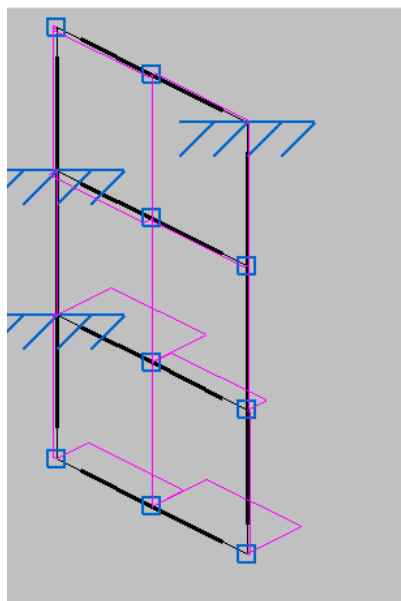


Figura C.4. Diagrama de cortante V_y .



Diagrama de cortante Vz:

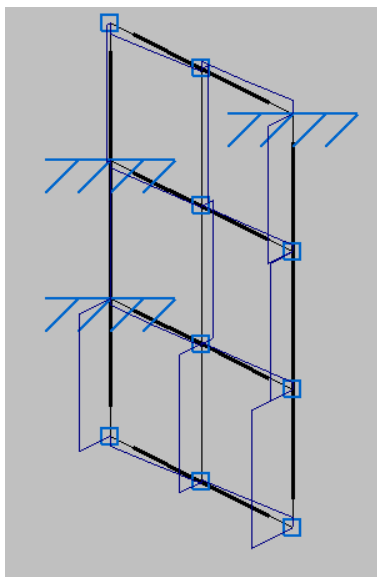


Figura C.5. Diagrama de cortante Vz.

Diagrama de momento torsor:

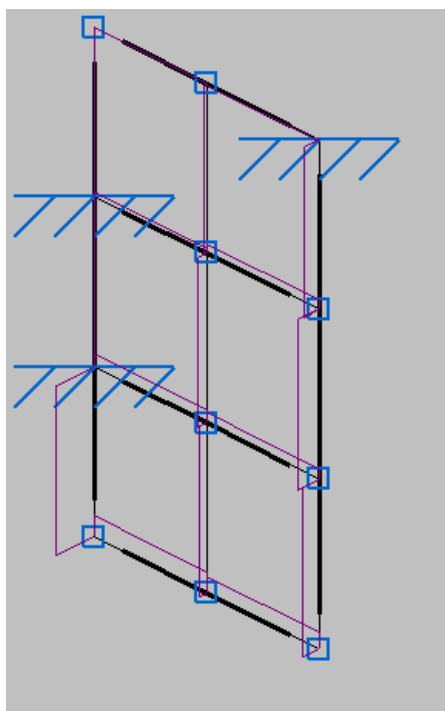


Figura C.6. Diagrama de momento torsor.



Diagrama de momento M_y :

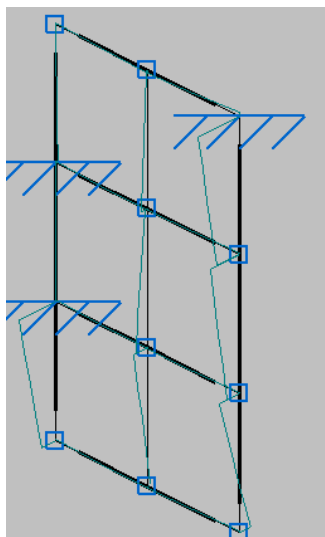


Figura C.7. Diagrama de momento M_y .

Diagrama de momento M_z :

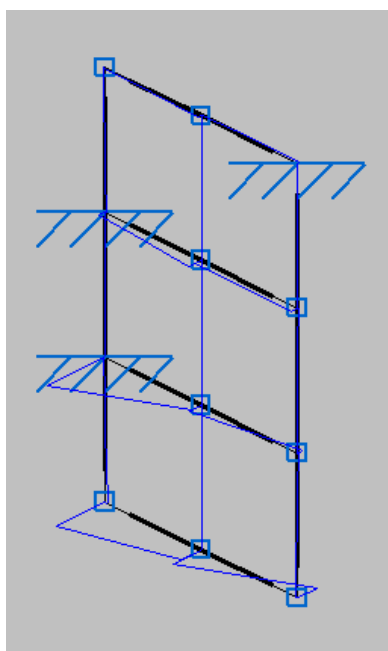


Figura C.8. Diagrama de momento M_z .



Deformada:

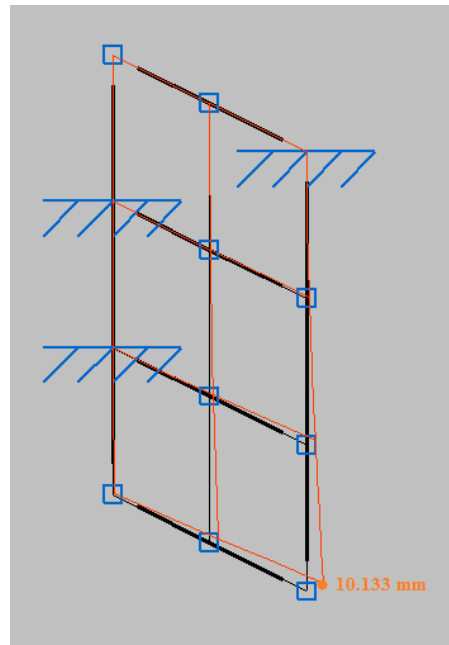


Figura C.9. Valor de la máxima deformación.

En la figura C.9 se ve como el valor de la máxima deformación en la estructura es inferior al máximo permitido por la norma EN 81-3, que es de 15 mm.

Ahora, mirando los diagramas obtenidos, se busca la barra más solicitada para cada tipo:

- Para la barra del marco, la barra más solicitada es la N3-N6, ya que el momento generado en Y es bastante elevado y está sometida a tracción.
- Para la barra del interior, la más solicitada es la N7-N8, al tener un elevado cortante en Y, momento torsor y momento en Z.



C.1.2.1. Barra N3-N6.

Diagramas:

Diagrama de axiles:

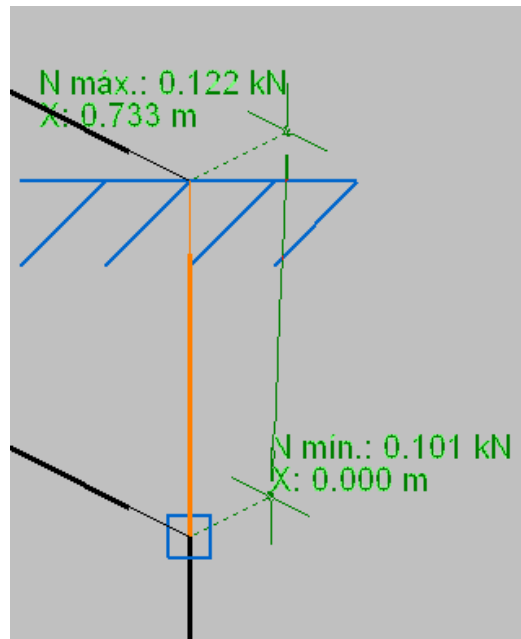


Figura C.10. Diagrama de axiles.

Diagrama de cortante Vz:

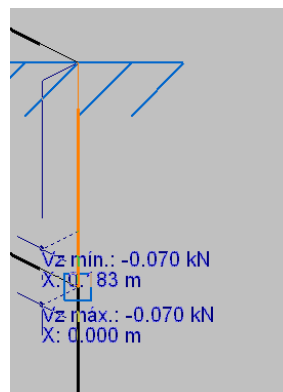


Figura C. 11. Diagrama de cortante Vz.



Diagrama de momento torsor:

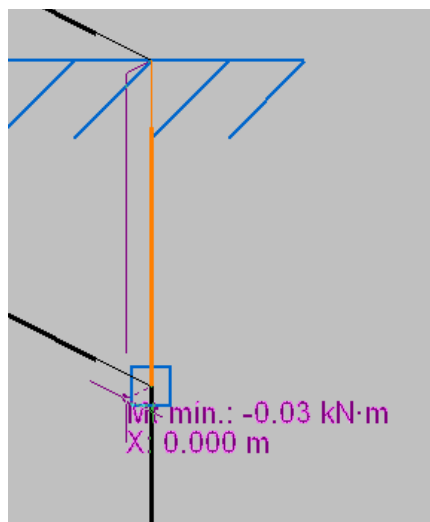


Figura C.12. Diagrama de momento torsor.

Diagrama de momento M_y :

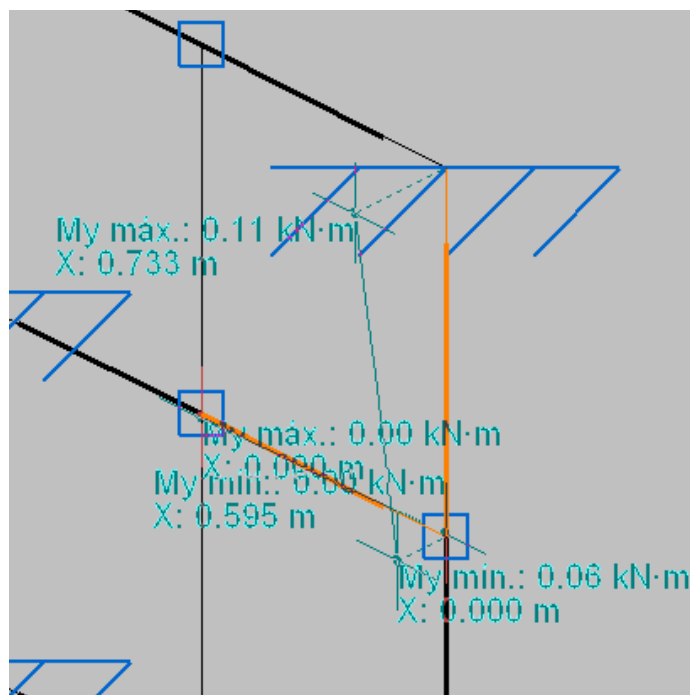


Figura C.13. Diagrama de momento M_y .



Elección del perfil.

Observando los diagramas de esfuerzos de la barra se seleccionan los valores máximos de los momentos, siendo para este caso:

$$M_y = 0.11 \text{ kN} * m \quad (C.1)$$

Se estima que las barras sean de un acero S275. El dimensionado se hace cogiendo el momento máximo en la barra, que en este caso corresponde con el momento en el eje Y. Luego conociendo el tipo de material y el momento máximo se puede sacar cual será el módulo resistente plástico mínimo que tendrá que tener el perfil.

$$W_y = \frac{M_{max}(N \text{ mm})}{\frac{275}{1.05}} = 0.42 \text{ cm}^3 \quad (C.2)$$

Usando un factor de seguridad de 2.75, el módulo que a de tener el perfil es:

$$W_y = 2.75 * 0.42 = 1.2 \text{ cm}^3 \quad (C.3)$$

Para este caso se ha decantado por usar un perfil cuadrado 35 x 3. Se ha elegido atendiendo a la poca deformación que experimenta la barra con este perfil.

Comprobaciones E.L.U.

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.001}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.122} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{94.55} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{3.61} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.9} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275} \text{ MPa}$$

γ_{mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{mo} : \underline{1.05}$$



Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.12}$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{0.9} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{3.4} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.9} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275} \text{ MPa}$$

γ_{MO}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.003}$$

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.07} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{26.3} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{1.74} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot h \cdot t$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{29} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.9} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275} \text{ MPa}$$

γ_{MO}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$



Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.13}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.11} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.122} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{94.55} \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{0.9} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{0.9} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.04}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo **$M_{T,Rd}$** viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{0.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{5.18} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.9} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$



C.1.2.2. Barra N7-N8.

Diagramas:

Diagrama de cortante V_y :

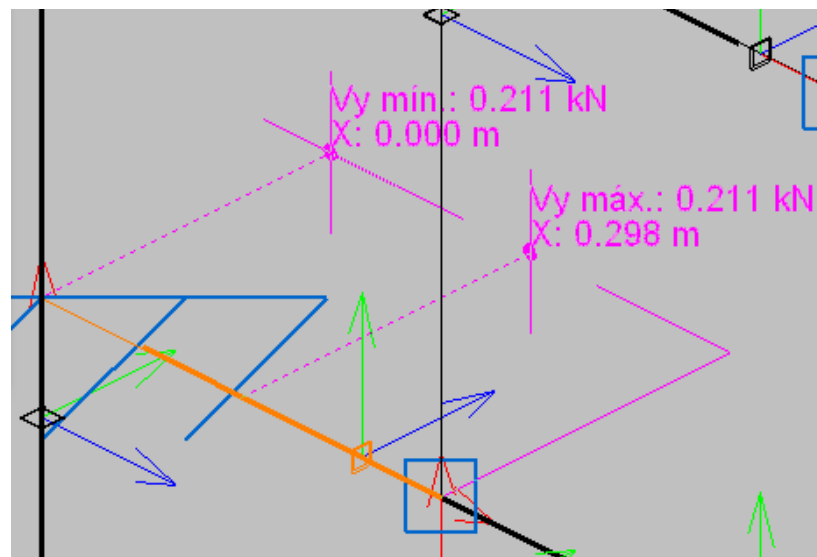


Figura C.14. Diagrama de cortante V_y .

Diagrama de cortante V_z :

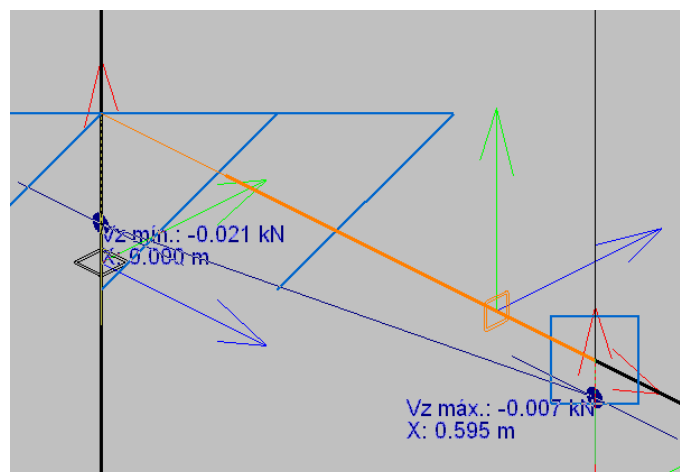


Figura C.15. Diagrama de cortante V_z .



Diagrama de momento torsor:

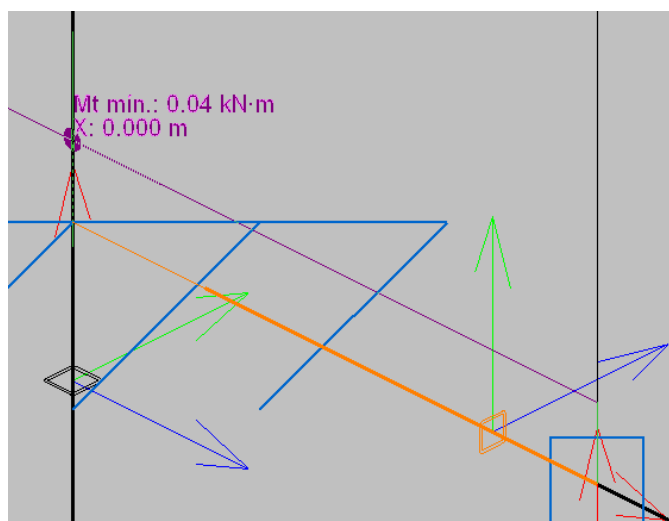


Figura C.16. Diagrama de momento torsor.

Diagrama de momento M_z :

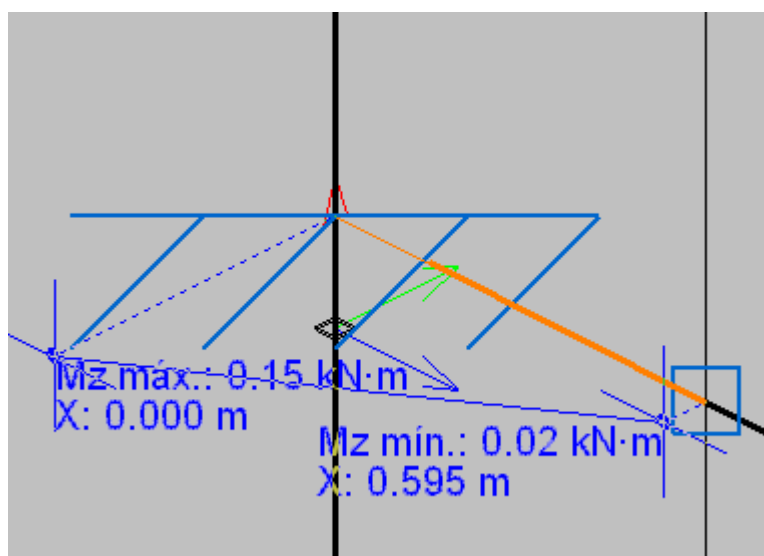


Figura C.17. Diagrama de momento M_z .



Elección del perfil.

Observando los diagramas de esfuerzos de la barra se seleccionan los valores máximos de los momentos, siendo para este caso:

$$M_z = 0.15 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (\text{C.4})$$

Se estima que las barras sean de un acero S275. El dimensionado se hace cogiendo el momento máximo en la barra, que en este caso corresponde con el momento en el eje Z. Luego conociendo el tipo de material y el momento máximo se puede sacar cual será el módulo resistente plástico mínimo que tendrá que tener el perfil.

$$W_z = \frac{M_{\max} (\text{N} \cdot \text{mm})}{\frac{275}{1.05}} = 0.572 \text{ cm}^3 \quad (\text{C.5})$$

Usando un factor de seguridad de 2.75, el módulo que a de tener el perfil es:

$$W_z = 2.75 \cdot 0.572 = 1.57 \text{ cm}^3 \quad (\text{C.6})$$

Para este caso se ha decantado por usar un perfil cuadrado 30 x 3.

Comprobaciones E.L.U.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{\text{Ed}}}{M_{\text{c,Rd}}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.24}$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{Ed}^{+} : } \underline{0.15} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{Ed}^{-} : } \underline{0} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$\mathbf{M_{c,Rd} : } \underline{0.62} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\mathbf{Clase : } \underline{1}$$

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$\mathbf{W_{pl,y} : } \underline{2.34} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd} : } \underline{261.9} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y : } \underline{275} \text{ MPa}$$

γ_{MO}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{MO} : } \underline{1.05}$$



Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001}$$

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.021} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{21.77} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{1.44} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot h \cdot t$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{24} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.9} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275} \text{ MPa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.01}$$

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.211} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{23.74} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{1.57} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot h \cdot t$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{24} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.9} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275} \text{ MPa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$



Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.07}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{0.54} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{3.58} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.9} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

C.1.2.3. Dimensiones finales.

Una vez se saben los perfiles que hay que colocar y conociendo las dimensiones máximas que han de tener las puertas (coinciden con las del esquema de la figura C.1), ya se pueden establecer las dimensiones que tendrán las puertas.

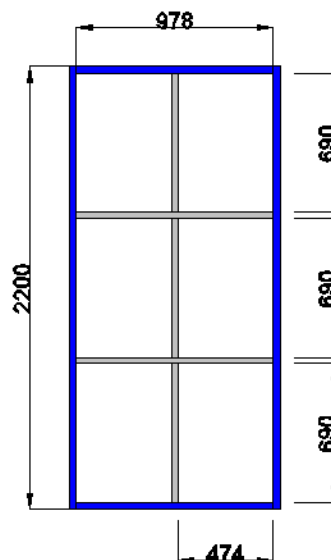


Figura C.18. Dimensiones definitivas de puerta.



En la figura C.18 se puede apreciar claramente por los colores, que barras componen el marco y cuales la parte interior.

El peso de la puerta es:

-Peso de las barras interiores:

$$P_{int} = 2.36 \frac{kg}{m} * ((2 * 0.978) + (3 * 0.690)(m)) = 9.51 kg \quad (C.7)$$

-Peso de las barras del marco:

$$P_{marco} = 2.83 \frac{kg}{m} * ((2 * 2.2) + (2 * 0.978)(m)) = 17.98 \approx 18 kg \quad (C.8)$$

Además se emplea una malla electrosoldada para tapar los huecos de la puerta. Se usará una malla comercial, del fabricante "Tecnomallas" con un acabado sin puntas y cuyas dimensiones de malla son 50 x 50 con un diámetro de la varilla de 4 mm, para garantizar la seguridad en el entorno.

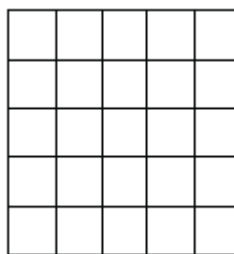


Figura C.19. Malla electrosoldada.

El peso de la malla es de 3.80 kg/m², por lo que sabiendo que la superficie de la puerta es de 2200 x 1048 mm², el peso de la malla es de,

$$P_{malla} = 3.80 \frac{kg}{m^2} * 2.3056 m^2 = 8.76 kg \quad (C.8)$$

El peso de la puerta es:

$$P_{puerta} = P_{int} + P_{marco} + P_{malla} = 9.51 + 18 + 8.76 = 36.27 kg \quad (C.9)$$



Las bisagras a emplear, pertenecen a la empresa *"JUSTOR"* son de simple acción fabricadas en acero y son las adecuadas para aguantar el peso de la puerta, sobre unos 40kg (se considera dentro de este peso el peso del dispositivo de enclavamiento).

Se emplearán dos bisagras por cada hoja. Van unidas a los perfiles con tornillos de acero autoroscantes. Sus características se muestran en la siguiente figura:

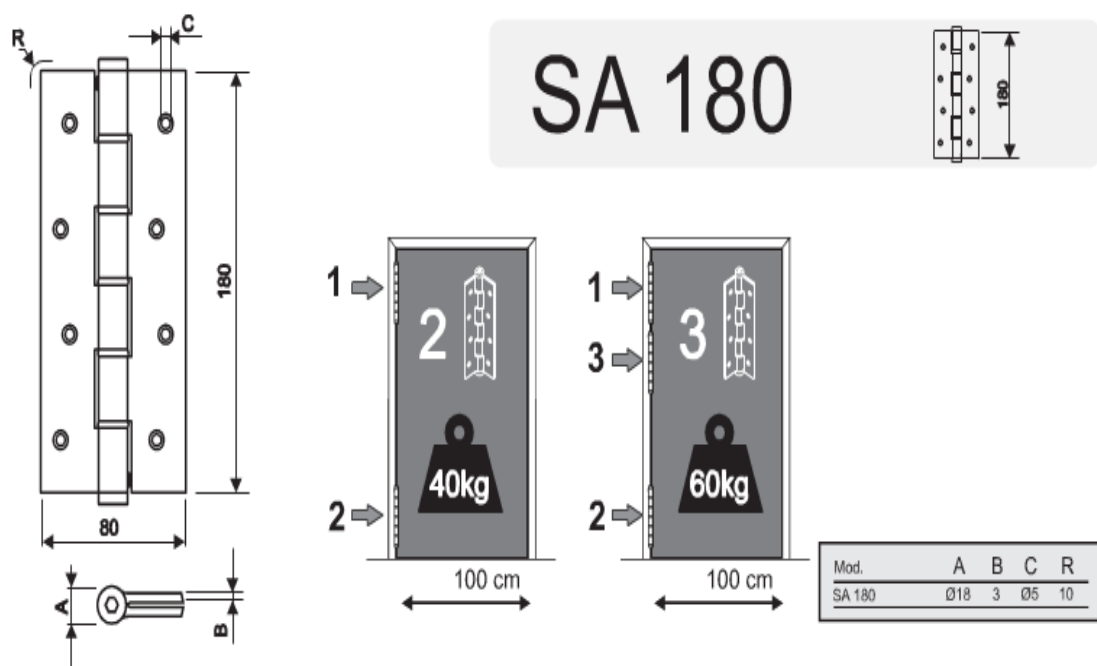


Figura C.20. Características de las bisagras.



C.1.3. ESTRUCTURA DEL CERRAMIENTO.

C.1.3.1. Dimensionado.

Para la estructura del cerramiento perimetral del hueco del montacargas, se ha seguido el siguiente esquema:

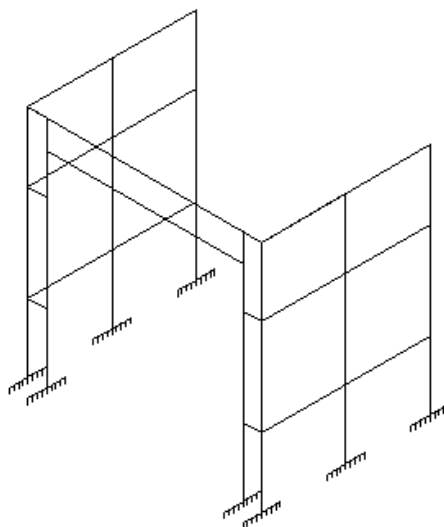


Figura C.21. Vista en 3D del cerramiento exterior.

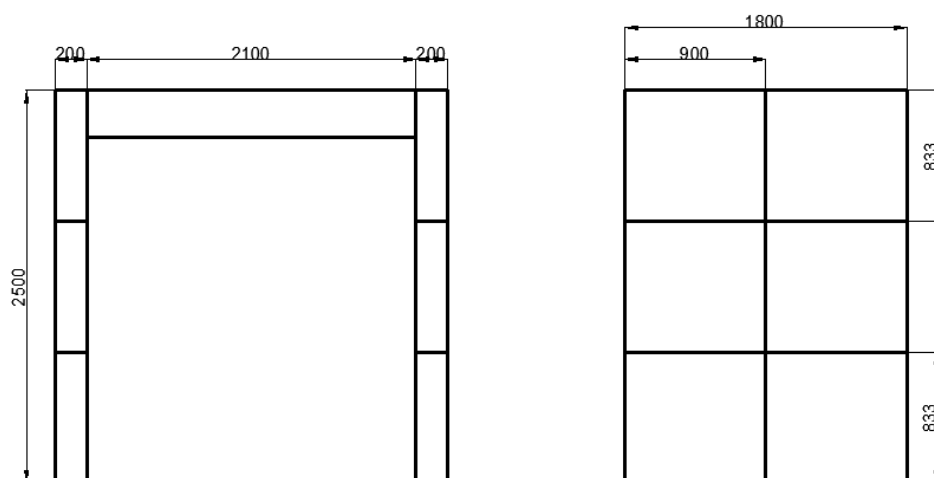


Figura C.22. Alzado y perfil del cerramiento con cotas.



Al igual que para el dimensionado de las puertas, para el del cerramiento se ha de suponer para que aguante la aplicación de una carga puntual de 1000 N (para que así soporte el impacto de una persona) en el punto más desfavorable sin presentar deformación permanente, y teniendo una deformación elástica inferior a 15 mm.

Además, sobre las vigas que sirven para unir las puertas a través de las dos bisagras, se ha de tener en cuenta el peso de las puertas (unos 20 kg por bisagra).

El procedimiento a seguir en este caso ha sido, con la ayuda del programa *CYPE INGENIEROS*, ir aplicando la carga de 1000 N en los puntos de la estructura que se ve claramente que sufrirán mayores esfuerzos. Además, esta vez el dimensionado se ha realizado, viendo en que punto se obtenía el mayor desplazamiento y este se puede ver en las figuras C.23 y C.24:

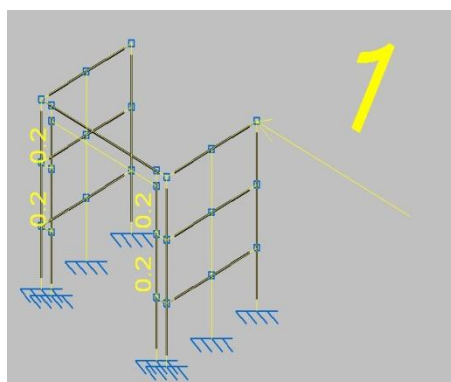


Figura C.23. Cargas sobre la estructura.

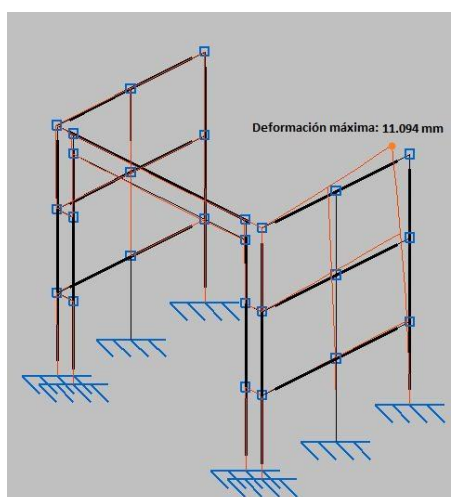


Figura C.24. Deformada máxima.



El desplazamiento de 11.094 mm, visto en la figura C.24, se ha obtenido usando una barra de perfil cuadrado 60 x 4 de acero S275. Esta deformación esta dentro de los límites establecidos por la norma.

Por tanto, visto que lo más desfavorable en este caso era la deformación provocada por la fuerza y no los esfuerzos, el dimensionado de esta estructura se ha realizado en base a ese caso.

A continuación se presentan los diagramas de esfuerzos y las comprobaciones a estado límite último de la barra más solicitada en la estructura, que corresponde con la vertical donde se aplica la carga en la figura C.23.

Diagramas:

Diagrama de axiles:

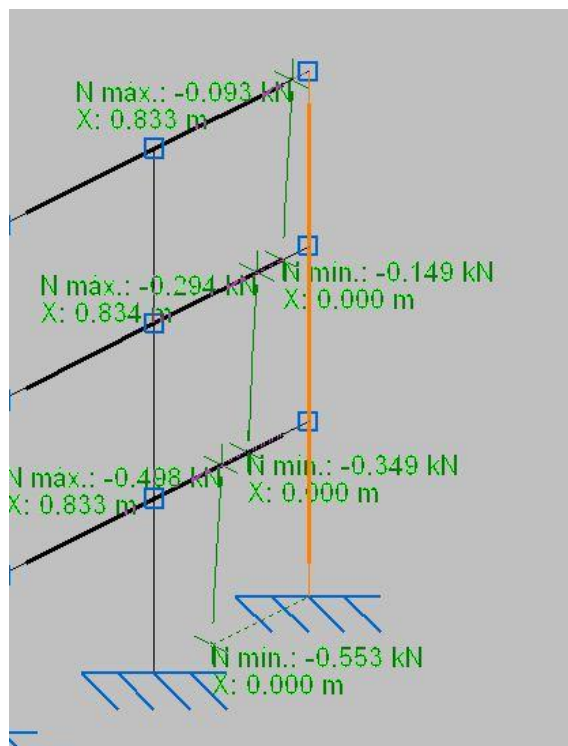


Figura C.25. Diagrama de axiles.



Diagrama de cortante V_y :

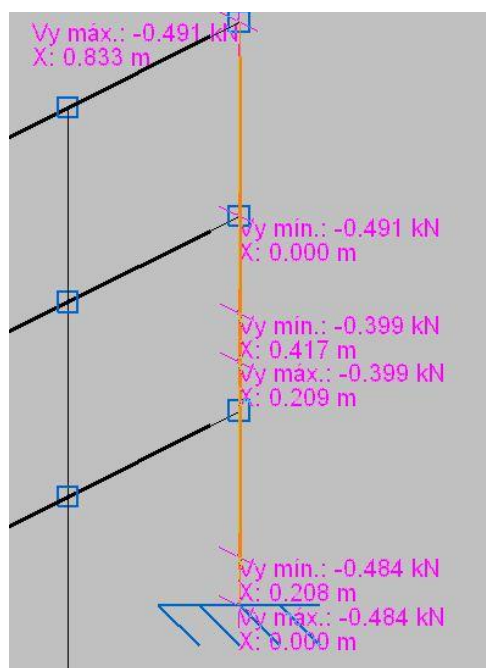


Figura C. 26. Diagrama de cortante V_y .

Diagrama de cortante V_z :

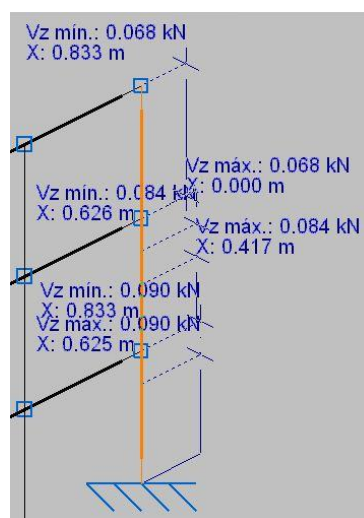


Figura C. 27. Diagrama de cortante V_z .



Diagrama de momento torsor:

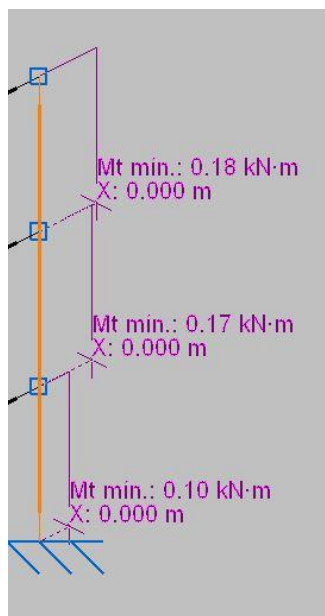


Figura C.28. Diagrama de momento torsor.

Diagrama de momento M_y :

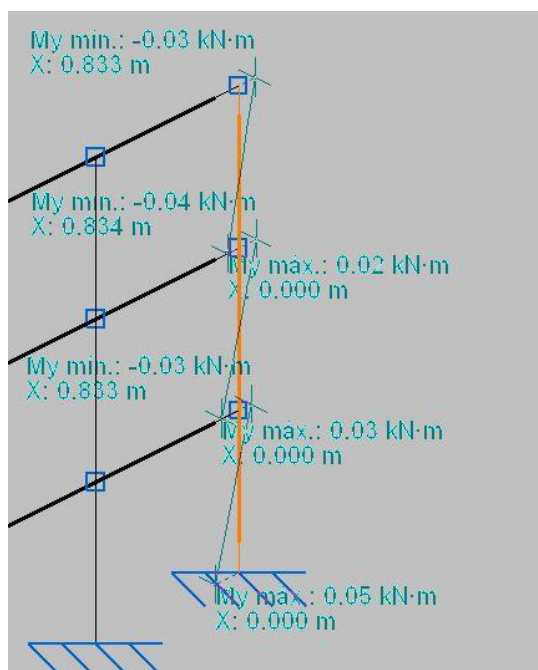


Figura C.29. Diagrama de momento M_y .



Diagrama de momento Mz:

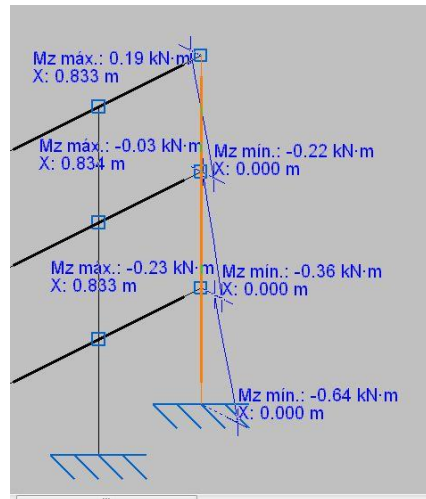


Figura C.30. Diagrama de momento Mz.

Comprobaciones E.L.U:

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : **0.002**

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión soliditante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 0.553 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd}$: 227.30 kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 8.68 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.9 MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.0 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05



Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.01}$$

M_{Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed} : 0.05 kN·m

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

M_{c,Rd} : 4.94 kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

W_{pl,y} : 18.85 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.9 MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.0 MPa

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.13}$$

M_{Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed} : 0.64 kN·m

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

M_{c,Rd} : 4.94 kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

W_{pl,z} : 18.85 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.9 MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.0 MPa

γ_{MO}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{MO} : 1.05



Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002}$$

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.09} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{62.90} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{4.16} \text{ cm}^2$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{52.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.9} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.0} \text{ MPa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.007}$$

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.491} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{68.33} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{4.52} \text{ cm}^2$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{8.68} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{52.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.9} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.0} \text{ MPa}$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$



Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.15}$$

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.553} \text{ kN}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.64} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{227.30} \text{ kN}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{4.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{4.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.05}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.18} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo **M_{T,Rd}** viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{3.79} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{25.06} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.9} \text{ MPa}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.0} \text{ MPa}$$

γ_{MO}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

Siendo los resultados los mostrados en las comprobaciones a estado límite último, se afirma que la elección de los perfiles realizada es la correcta para el caso que se ocupa.



C.1.3.2. Dimensiones de la estructura.

La estructura final del cerramiento se ve en la figura C.31,

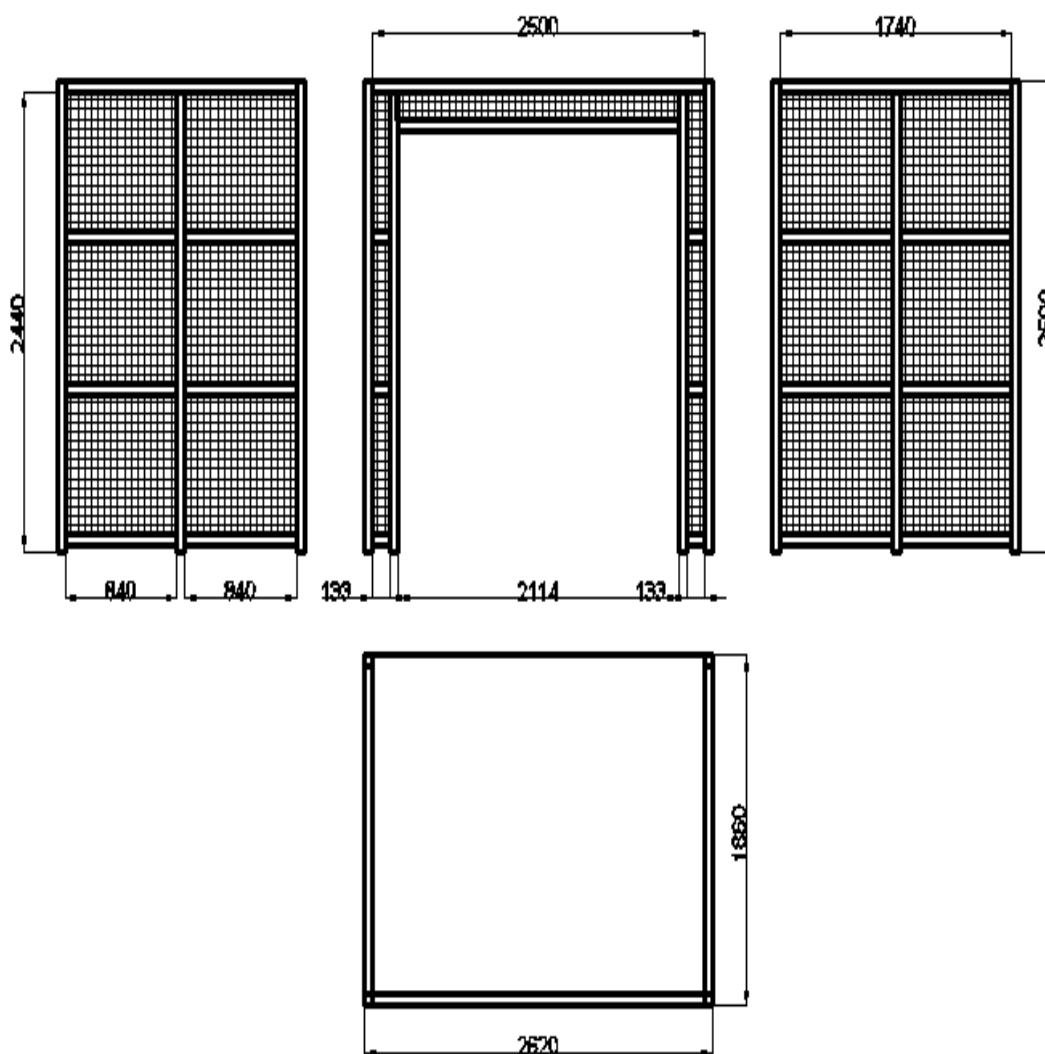


Figura C.31. Dimensiones del cerramiento.

Este cerramiento será igual, tanto para la planta baja como para la planta superior.

Se ha considerado que la separación entre las hojas de las puertas sea de 4 mm, y que la separación entre la puerta y el poster que sujeta la bisagra sea de 7 mm, siendo este valor la anchura de la bisagra, como se puede apreciar en la imagen C.20.



C.2. CÁLCULO DE AMORTIGUADORES.

C.2.1. INTRODUCCIÓN.

Para los amortiguadores, se emplearán del tipo amortiguador de acumulación de energía, ya que la utilización de este tipo es para velocidades inferiores de 1 m/s, como es el caso que se aplica.

Además, se han seleccionado por su bajo coste de mantenimiento.

Para el diseño y cálculo se decide que el amortiguador sea un muelle helicoidal a compresión, cilíndrico y de sección circular.

C.2.2. DIMENSIONADO.

Los datos correspondientes a la instalación son:

- Masa de la unidad de carga: $K=535$ kg.
- Carga nominal: $Q=3000$ kg.
- Velocidad nominal: $v=0.26$ m/s.

El material del resorte se trata de un hilo de acero para conformar en caliente y bonificar, ya que este proceso de fabricación se emplea para muelles helicoidales de grandes dimensiones como es el caso.

Como material del amortiguador se ha optado por un acero 60SiCr7 (acero F-1442) con una resistencia a la tracción de 1800MPa y un módulo de cortadura de $G=81.5$ GPa.

Para analizar el estado de tensiones en una sección cualquiera de un muelle helicoidal cilíndrico de hilo de sección circular, se parte de considerar el equilibrio de una mitad del muelle cortado por la sección de estudio (Figura B.), donde se comprueba que la sección del hilo está sometida simultáneamente a un momento torsor, M_t , y a una fuerza de cortadura, F .

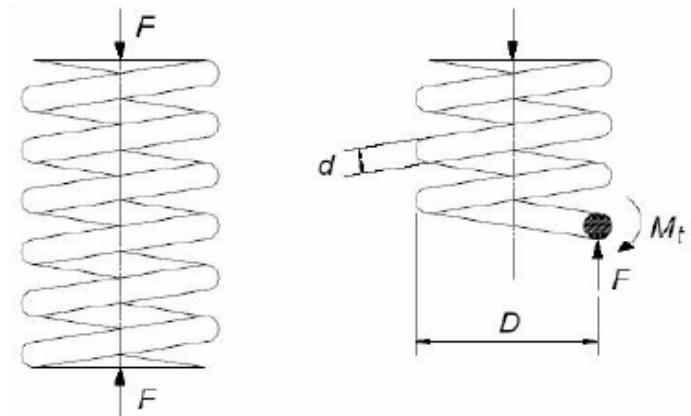


Figura C.32. Esquema de trabajo de un muelle helicoidal.

Por otro lado, en la figura C.33 se pueden ver separadamente las distribuciones de tensiones provocadas por la torsión (a), por las fuerzas de cortadura (b), y a su superposición (c). La distribución de tensiones de cortadura en (d) son las reales, que aparecen con forma ligeramente curvilínea.

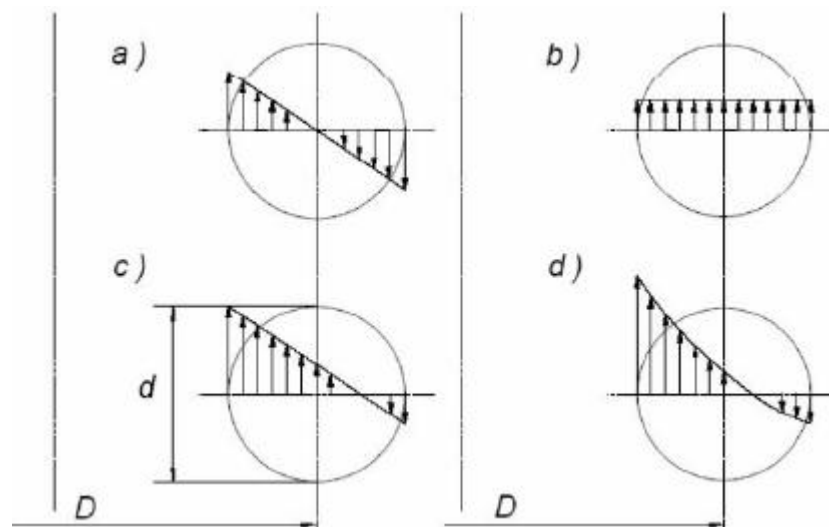


Figura C.33 .Distribución de tensiones en la sección del hilo.

Puesto que la tensión de torsión en el resorte helicoidal aumenta conforme disminuye la distancia del punto de evaluación de la tensión al eje del resorte es necesario inicialmente evaluar el factor de corrección de la tensión del hilo mediante el denominado coeficiente de Wahl.



Para hallar el coeficiente de Wahl se estima la relación D_s/d , en el que normalmente se toma una relación entre 6 y 15.

En este caso se considera una relación $D_s/d=6$, ya que de esta manera una vez hallado el diámetro de la sección del hilo, el diámetro del resorte no sea muy grande y así permitir un ahorro de espacio en el foso.

El coeficiente de Wahl es,

$$\psi = \frac{\frac{D_s}{d} - 0.25}{\frac{D_s}{d} - 1} + \frac{0.615}{\frac{D_s}{d}} = \frac{6 - 0.25}{6 - 1} + \frac{0.615}{6} = 1.2525. \quad (C.10)$$

Seguidamente, se determina la tensión admisible a torsión del material. En este caso se obtiene multiplicando la resistencia a la tracción del material por un factor de 0.28:

$$\tau_p = 0.28 * \sigma_{ts} = 0.28 * (1800 \text{ Mpa}) = 504 \text{ Mpa}. \quad (C.11)$$

De las siguientes ecuaciones (Ecuación C.12) y (Ecuación C.13) y operando se despeja el valor del diámetro de la espira, d , (Ecuación C.14):

$$F_{max} = \frac{\pi * d^3}{8 * q * D_s} * \tau_p \quad (C.12)$$

$$\frac{8 * F_{max} * D_s * \psi}{\pi * d^3} \leq \tau_p \quad (C.13)$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{8 * F_{max} * \psi}{\pi * \tau_p} * \frac{D_s}{d}} \text{ (mm)} \quad (C.14)$$

Nota: el coeficiente Wahl, ψ , y la q que aparece en el denominador de la ecuación (B.3) se refieren al factor de corrección de tensiones.

F_{max} es la fuerza en N con el resorte totalmente comprimido, que de acuerdo con las especificaciones europeas, la máxima fuerza (Ecuación B.6) a realizar por el amortiguador es:

$$F_{max} = 4 * (Q + K) * g = 4 * (3000 + 535) * 10 = 141400 \text{ N} \quad (C.15)$$

Pero como se deciden colocar 4 muelles en el foso para la plataforma, para amortiguar mejor el choque y así ahorrar más espacio y material se tiene:



$$F_{max} = \frac{4 \cdot (3000 + 535) \cdot 10}{4} = 35350 \text{ N para cada muelle} \quad (C.16)$$

Con el dato de la fuerza y la estimación inicial de la relación D_s/d , se tiene un diámetro del alambre:

$$d \geq \sqrt{\frac{8 \cdot 35350 \cdot 1.25}{\pi \cdot 504}} \cdot 6 \geq 36.59 \text{ mm} \rightarrow 37 \text{ mm} \quad (C.17)$$

Una vez obtenido el diámetro de la espira, d , y estimada previamente la relación D_s/d , se halla el diámetro nominal del resorte D_s ,

$$D_s = 6 \cdot 37 = 222 \text{ mm} \quad (C.18)$$

Por otro lado, para determinar el número de espiras activas del resorte helicoidal se siguen los pasos siguientes:

La compresión del resorte se puede expresar,

$$F_{max} = k \cdot x \quad (C.19)$$

Donde k es la rigidez del resorte helicoidal pudiéndose expresar x como:

$$x = \Phi \cdot \frac{D_s}{2} \quad (C.20)$$

Tomando Φ el ángulo de torsión se tiene la siguiente expresión:

$$\Phi = \frac{M_t \cdot l}{G \cdot J_p} \quad (C.21)$$

donde:

- M_t = par de torsión (Nm)

- l = longitud del resorte sometida a torsión.

- G = módulo de cortadura del material.

- J_p = momento de inercia polar de la sección de la espira (en torno al eje perpendicular a la sección en el centro de esta.)



Como ya es conocido:

$$Mt = \frac{F_{max} * Ds}{2} (N \text{ mm}) \quad (C.22)$$

$$l = \pi * Ds * n (mm) \quad (C.23)$$

donde n es el número de espiras activas del resorte,

$$Jp = \frac{\pi * d^4}{32} (mm^4) \quad (C.24)$$

Sustituyendo (Ecuación C.21), (Ecuación C.22), (Ecuación C.23) y (Ecuación C.24) se tiene:

$$x = \frac{8 * F_{max} * Ds^3 * n}{G * d^4} \quad (C.25)$$

Combinando las ecuaciones (Ecuación C.19) y (Ecuación C.25) resulta:

$$\frac{F_{max}}{k} = \frac{8 * F_{max} * Ds^3 * n}{G * d^4} \quad (C.26)$$

Y por tanto, n, el número de espiras activas toma la siguiente expresión:

$$n = \frac{G * d^4}{8 * Ds^3 * k} \quad (C.27)$$

Antes de hallar el número de espiras activas del resorte, como se puede observar en la ecuación (Ecuación C.27), es preciso conocer la rigidez del resorte, que a continuación se muestra la manera de hallarlo:

La carrera del amortiguador es el mayor de los valores siguientes, según EN 81-3:

$$f_{max} = \{ 65 \text{ mm} ; 0.135 * v^2 \} \quad (C.28)$$



La carrera posible de los amortiguadores de acumulación de energía tengan o no amortiguación del movimiento de retorno, será por lo menos igual a dos veces la distancia por parada por gravedad con velocidad de 115% de la velocidad nominal, es decir $2 \cdot 0.067 \cdot v^2$ aproximadamente igual a $0.135 \cdot v^2$, expresando la carrera en metros y la velocidad en m/s.

Sustituyendo en (Ecuación C.28),

$$f_{max} = \{ 65 \text{ mm} ; 0.135 \cdot 0.26^2 \} = 65 \text{ mm}. \quad (\text{C.29})$$

Luego, sabiendo que la máxima fuerza a realizar por el amortiguador (Ecuación C.16) y combinándola con la ecuación C.29, se tiene el valor de la rigidez del muelle:

$$k = \frac{F_{max}}{f_{max}} = \frac{35350 \text{ N}}{65 \text{ mm}} = 543.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (\text{C.30})$$

El número de espiras activas es:

$$n = \frac{81.5 \cdot 10^3 \cdot 37^4}{8 \cdot 222^3 \cdot 543.85} = 3.21 \approx 4 \text{ espiras activas}. \quad (\text{C.31})$$

Con estos valores obtenidos, ahora es necesario comprobar que los 4 amortiguadores calculados no pandean.

Para ello se produce el cálculo de la longitud inicial de los muelles (Ecuación C.32) y se hallan una serie de relaciones (Ecuación C.33) y (Ecuación C.34) que se verifican en el gráfico que se adjunta a continuación (Figura C.34):

$$L_0 = (n + nf) \cdot d + \delta_{max} \quad (\text{C.32})$$



Donde n_f es el número de espiras finales del resorte y δ_{max} es la deformación máxima del resorte en mm.

$$\frac{\delta_{max}}{L_0} \quad (C.33)$$

$$\frac{v * L_0}{D_s} \quad (C.34)$$

Estas dos últimas expresiones servirán para evaluar el pandeo de los resortes empleando seguidamente la gráfica que aparece en la figura C.34.

El parámetro v tiene en cuenta el tipo de soporte en los extremos como se puede ver adjunto en la figura C.34. En este caso se ha tomado el valor $v=1$, y como número de espiras finales se añade una espira más puesto que solo tiene un extremo fijo.

De este modo, y aplicando las ecuaciones (Ecuación C.32), (Ecuación C.33) y (Ecuación C.34) se tiene:

$$L_0 = (4 + 1) * 37 + 65 = 250 \text{ mm} \quad (C.35)$$

$$\frac{\delta_{max}}{L_0} = \frac{65}{250} = 0.26 \quad (C.36)$$

$$\frac{v * L_0}{D_s} = \frac{1 * 250}{222} = 1.13 \quad (C.37)$$

Observando la figura C.34 se puede comprobar que los muelles de acumulación de energía calculados para la plataforma no sufren el fenómeno de pandeo, por lo tanto el diseño y cálculo de los 4 muelles es correcto y la relación estimada $D_s/d=6$ proporciona un resultado correcto.

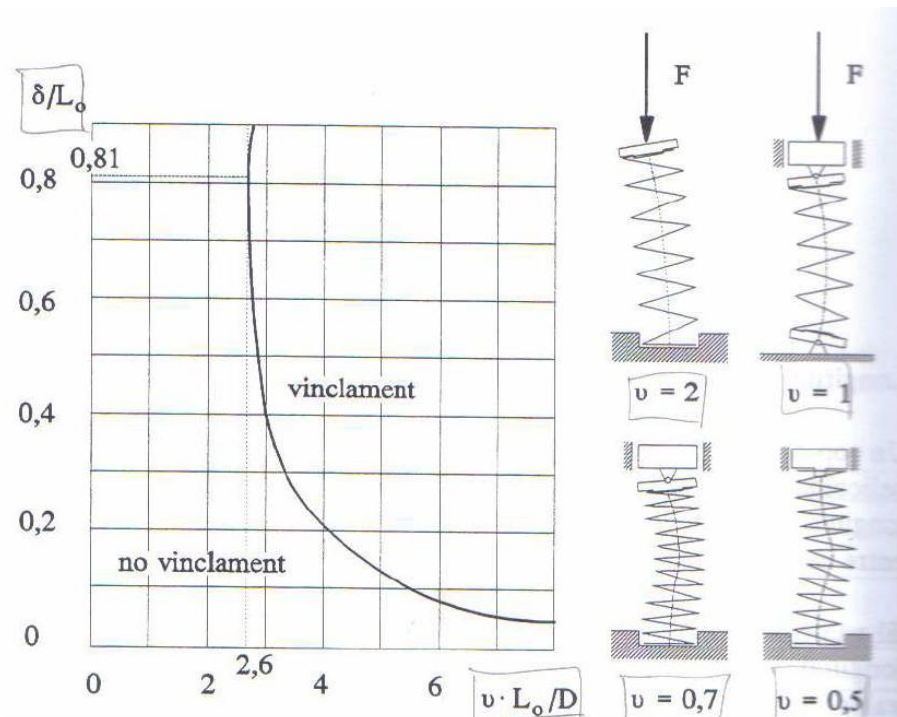


Figura C.34. Gráfico de evaluación del pandeo en muelles de compresión.

Con las ecuaciones siguientes, (Ecuación C.38) y (Ecuación C.39), se calculan las dimensiones externas e internas en lo referente al diámetro del resorte:

$$De = Ds + 2 * \frac{d}{2} = 222 + 2 * \frac{37}{2} = 259 \text{ mm} \quad (\text{C.38})$$

$$Di = Ds - 2 * \frac{d}{2} = 222 - 2 * \frac{37}{2} = 185 \text{ mm} \quad (\text{C.39})$$

Para cuantificar las tensiones tangenciales originadas por torsión y cizalladura en la sección circular de la espira, se aplica las siguientes ecuaciones.

La tensión tangencial debida a torsión únicamente se halla de la siguiente manera:

$$\tau_{torsión} = \pm * \frac{Mt}{Wt} = \pm * \frac{Fmax * \frac{d}{2}}{Wt} \quad (\text{C.40})$$



donde W_t es el momento resistente a torsión de la sección circular, que en este caso:

$$W_t = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \quad (C.41)$$

La tensión tangencial debida al esfuerzo de cizalladura se halla:

$$\tau_{ciz} = \frac{F_{max}}{A} \quad (C.42)$$

donde A es el área de la sección circular del hilo del resorte.

De este modo, y aplicando las ecuaciones (Ecuación C.40), (Ecuación C.41), y (Ecuación C.42) se tienen los siguientes valores de tensiones tangenciales junto con la representación del diagrama de esfuerzos (Figura C.35), donde se ven los esfuerzos debidos solo a torsión (a), debidos solo a cizalladura (b), y debidos a la superposición de ambos (c).

$$\tau_{torsión} = \pm \frac{35350 \cdot \frac{37}{2}}{\frac{\pi \cdot 37^3}{16}} = \pm 65.75 \text{ MPa.} \quad (C.43)$$

$$\tau_{ciz} = \frac{F_{max}}{A} = \frac{35350}{\frac{\pi \cdot 37^2}{4}} = 32.88 \text{ MPa.} \quad (C.44)$$

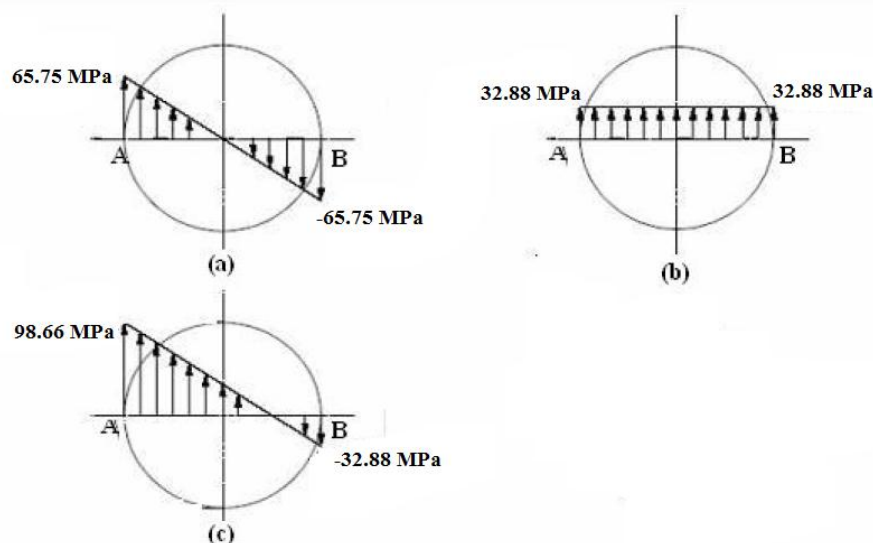


Figura C.35. Diagrama de tensiones tangenciales en la espira.



Como se puede observar en la figura C.35, se observa que en el punto A es donde hay una distribución de tensiones más desfavorable, debido al efecto de concentración de tensiones causado por la curvatura de la espiral.

Por este motivo, se adopta un factor de corrección de tensiones, q o ψ , función de la relación de enrollamiento, Ds/d , que ya tiene en cuenta todos los efectos anteriormente citados.

De esta manera, y sabiendo que la tensión tangencial máxima pertenece al punto A, cuyo valor es de 98.66 MPa, se procede a evaluar su resistencia comparándola con la tensión tangencial admisible (Ecuación C.45):

$$\tau_{adm} = \frac{0.58 \cdot \sigma_e}{\gamma_{se}} \quad (C.45)$$

donde σ_e es el límite elástico del material y γ_{se} es el factor de seguridad a tomar.

En este caso, $\sigma_e = 1590$ MPa y del coeficiente de seguridad se ha tomado un valor de 4. De esta manera, y aplicando (Ecuación C.45) se tiene:

$$\tau_{adm} = \frac{0.58 \cdot 1590}{4} = 230.55 \text{ MPa} \quad (C.46)$$

que comparando este valor con $\tau_{max} = 98.66 \text{ MPa}$, se observa claramente que este valor de tensión tangencial máxima es claramente inferior a la tensión tangencial admisible por el material. Así pues, los resortes diseñados aguantan los esfuerzos con un coeficiente de seguridad de 4.

Para la fabricación de los muelles se mandarán las especificaciones antes definidas de este, a la empresa *MUELLES TOSCA*, la cual se encargará de la elaboración de este.

Estos muelles irán alojados en el foso del montacargas, fijados a este mediante una placa metálica sujeta con tornillos (ver planos).



C.3. ESPECIFICACIONES DE LOS ACEROS EMPLEADOS.

Las propiedades mecánicas y las composiciones de los aceros empleados en la construcción de este montacargas, se especifican en las siguientes tablas proporcionadas por el fabricante de los perfiles.

Los aceros utilizados en el presente proyecto han sido:

- S275 JR.
- S355 JR.
- S450 JO.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Norma Standard Norma	Calidades Grades Tipi	Limite elástico mínimo R_{eH} Minimum yield strength R_{eH} Limite elastico minimo R_{eH}						Resistencia a la tracción R_m Tensile strength R_m Resistenza alla trazione R_m		Alargamiento mínimo A Minimum elongation A Allungamento minimo A $L_0 = 5,65 \cdot \sqrt{S_0}$ %				Ensayo de flexión por choque Notch impact test Prova di resilienza	
		MPa						MPa							
		Espesor nominal (mm) Nominal thickness (mm) Spessore nominale (mm)						Espesor nominal (mm) Nominal thickness (mm) Spessore nominale (mm)		Espesor nominal (mm) Nominal thickness (mm) Spessore nominale (mm)				Temperatura Temperature Temperatura	Energía mín. absorbida Min. absorbed energy Energia min. assorbita
		≤16	>16	>40	>63	>80	>100	>3	>100	>3	>40	>63	>100	°C	J
		≤40	≤63	≤80	≤100	≤125	≤100	≤125	≤125	≤40	≤63	≤100	≤125		
EN 10025-2: 2004	S235JR	235	225				195	360-510	350-500	26	25	24	22	+20	27
	S235J0													0	27
	S235J2*													-20	27
	S275JR	275	265	255	245	235	225	410-560	400-540	23	22	21	19	+20	27
	S275J0													0	27
	S275J2*													-20	27
	S355JR	355	345	335	325	315	295	470-630	450-600	22	21	20	18	+20	27
	S355J0													0	27
	S355J2													-20	27
	S355K2													-20	40
	S450J0	450	430	410	390	380	380	550-720	530-700	17				0	27
	E295*	295	285	275	265	255	245	470-610	450-610	20	19	18	16		
	E335*	335	325	315	305	295	275	570-710	550-710	16	15	14	12		
	E360*	360	355	345	335	325	305	670-830	650-830	11	10	9	8		

Figura C.36. Tabla de propiedades mecánicas.



COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Norma Standard Norma	Calidades Grades Tipi	Análisis de colada Ladle analysis Analisi di colata												
		C max. %			Mn max. %*	Si ⁽²⁾ max. %*	P max. %*	S max. %*	N ⁽²⁾ max. %*	Cu max. %*	Otros Other Altri max. %	CEV ⁽⁴⁾ max. %		
		Espesor nominal (mm) Nominal thickness (mm) Spessore nominale (mm)										Espesor nominal (mm) Nominal thickness (mm) Spessore nominale (mm)		
		≤ 16	>16 ≤40	>40 ⁽³⁾								≤30	>30 ≤40	>40 ≤125
EN 10025-2: 2004	S235JR	0,17	0,17	0,20	1,40	-	0.040 ⁽⁶⁾	0,040	0,012	0,55	-	0,35	0,35	0,38
	S235JO	0,17	0,17	0,17	1,40	-	0,035	0,035	0,012	0,55	-	0,35	0,35	0,38
	S235J2*	0,17	0,17	0,17	1,40	-	0,030	0,030	-	0,55	-	0,35	0,35	0,38
	S275JR	0,21	0,21	0,22	1,50	-	0.040 ⁽⁶⁾	0,040	0,012	0,55	-	0,40	0,40	0,42
	S275JO	0,18	0,18	0,18	1,50	-	0,035	0,035	0,012	0,55	-	0,40	0,40	0,42
	S275J2*	0,18	0,18	0,18	1,50	-	0,030	0,030	-	0,55	-	0,40	0,40	0,42
	S355JR	0,24	0,24	0,24	1,60	0,55	0.040 ⁽⁶⁾	0,040	0,012	0,55	-	0,45	0,47	0,47
	S355JO	0,20	0.20 ⁽⁵⁾	0,22	1,60	0,55	0,035	0,035	0,012	0,55	-	0,45	0,47	0,47
	S355J2 ⁽⁵⁾	0,20	0.20 ⁽⁵⁾	0,22	1,60	0,55	0,030	0,030	-	0,55	-	0,45	0,47	0,47
	S355K2 ⁽⁵⁾	0,20	0.20 ⁽⁵⁾	0,22	1,60	0,55	0,030	0,030	-	0,55	-	0,45	0,47	0,47
	S450JO	0,20	0.20 ⁽⁵⁾	0,22	1,70	0,55	0,035	0,035	0,025	0,55	⁽⁷⁾	0,47	0,49	0,49
	E295*						0,045	0,045	0,012					
	E335*						0,045	0,045	0,012					
	E360*						0,045	0,045	0,012					

Figura C.37. Tabla de composición química.



C.4. COMPONENTES ELÉCTRICOS DE SEGURIDAD.

El montacargas dispone de una serie de elementos eléctricos que impiden el funcionamiento o lo detienen en caso de riesgo para la seguridad de las personas.

Estos elementos están acoplados al sistema eléctrico de la instalación (ver plano PFC-00-18).

A continuación se detallan los principales elementos de seguridad empleados.

Conmutadores de límite final de carrera.

Es un interruptor que va instalado en la plataforma. Al llegar a las levas que hay situadas en cada piso, el interruptor abre el circuito de alimentación del motor, deteniendo la plataforma.

El conmutador utilizado es de la casa *Omron*, modelo D4N-4120, cuya forma puede apreciarse en la figura C.38.



Figura C.38. Conmutador final de carrera.



Enclavamiento mecánico de puertas.

Sobre las puertas, (ver plano PFC-00-16) se sitúa un dispositivo de enclavamiento eléctrico, que hace que mientras el motor del montacargas está en marcha, bloquee las puertas para que estas no puedan estar abiertas.

Del mismo modo, en caso de pretender activar el montacargas sin cerrar antes alguna puerta, el dispositivo hace que el circuito no se cierre, generando así el no accionamiento del motor (en caso de subida) o la no apertura de la válvula (en caso de bajada).

Este sistema es una compactación del sistema comúnmente utilizado, en el que se tiene una cerradura de puertas tradicional y un sensor colocado en las puertas para saber si estas están abiertas o cerradas. El bloque utilizado es más seguro ya que evita que las puertas se abran durante el funcionamiento o que lo hagan cuando la plataforma elevadora no se encuentre en el piso donde se pretenda abrir la puerta.

El enclavamiento utilizado es de la casa *Allen-Bradley*, y puede verse en la figura C.39.



Figura C.39. Dispositivo de enclavamiento.



Botoneras de llamada.

Las botoneras de llamada escogidas constan de tres botones principales, botón de subida, botón de bajada y seta STOP.



Figura C.40. Botonera de llamada.